Б. ФОМИН • ПОКОРЕННАЯ ПЛАЗМА
БОРИС ФОМИН
Покоренная плазма
Издательство "Детская литература"

SHOUT
SHARE
IT

Annotation

Есть ли что-либо общее между гигантским шаром Солнца и электрической искоркой, проскочившей в выключателе? Между молнией и ртутной лампой? Между северным сиянием и светящимися трубками реклам? Оказывается, есть. И Солнце, и молния, и светящиеся трубки, и северное сияние — все это плазма, четвертое состояние вещества. В книге «Покоренная плазма» в доступной форме рассказано о плазме, встречающейся в природе и созданной человеком, об ученых, покоряющих плазму, о том, как и где применяется плазма в науке, технике, медицине, в быту. Юный читатель узнает из книги, что важнейшие проблемы современной науки — управляемые термоядерные реакции, непосредственное преобразование тепла в ток, квантовые генераторы, создающие лучи невиданной мощности, — решаются на основе использования плазмы.

- Борис Васильевич Фомин
  -
  - Предисловие
  - Глава I
  - Глава II
  - Глава III
  - Глава IV
  - Глава V
  - Глава VI
  - Глава VII
  - Глава VIII
  - Глава IX
  - Глава X
  - Глава XI
  - Глава XII
  - Глава XIII
  -

Борис Васильевич Фомин

Покоренная плазма

Издательство „Детская литература“

Москва 1964

Рисунки Р. Балалова

Обложка Г. Алимова

Предисловие

Осенью 1958 года ученые Москвы готовились к важному событию: в столицу съезжались их коллеги из многих городов страны. Большой отряд профессоров, доцентов, научных работников прибыл из Ленинграда, немало посланцев науки было из Киева, Харькова, Львова, из городов Сибири, Средней Азии, Дальнего Востока. Ехали ученые и из-за рубежа.

Прибыв в Москву, все задавали один и тот же вопрос: как попасть на Ленинские горы, в Университет?

Что за конференция собиралась в стенах прославленного русского университета и почему на нее торопились попасть ученые многих стран?

Конференция была посвящена плазме. Правда, официально она называлась иначе: Вторая Всесоюзная конференция по газовым разрядам. Но даже малоискушенные в науке люди знают, что электрический разряд в газах и плазма — это две стороны одной медали. Там, где возникает разряд, там, как правило, рождается и плазма.

Но что же такое плазма?

С таким вопросом в дни работы конференции обратился корреспондент одной московской газеты к академику Льву Андреевичу Арцимовичу.

Академик Л. А. Арцимович — крупнейший специалист по физике плазмы. Он — лауреат Ленинской премии, удостоенный этой высокой награды за работы по исследованию высокотемпературной плазмы. Чаще эти исследования называются работами по управляемым термоядерным реакциям.

Все это говорит о том, что корреспондент обратился по надежному, верному адресу.

Но ученый был очень занят. Участие в конференции, работа в научно-исследовательском институте, лекции в Университете — все это оставляет мало времени для бесед с журналистами. Поэтому он давал короткие, лаконичные ответы.

Журналист не успел исписать двух-трех страниц в своем блокноте, как академик был увлечен водоворотом новых дел. Извинившись, он исчез.

— Не густо, — пробормотал корреспондент и побрел по длинному факультетскому коридору вдоль застекленных дверей лабораторий.

Тут я его и встретил. Я участвовал в работе «штаба» конференции, обеспечивающего четкую работу всех ее секций, и поэтому бóльшую часть дня находился среди участников.

— Не можете ли вы мне помочь? — спросил меня корреспондент.

— Чем?

— Ну хотя бы порекомендовать популярную книжку о плазме. Поверьте, нелегко писать о научной проблеме, когда ее представляешь только в общих чертах.

Я согласился помочь журналисту.

Не откладывая дела в долгий ящик, я направился в нашу университетскую библиотеку.

А через час пожалел, что так неосмотрительно пообещал корреспонденту достать нужную ему книгу. Я перерыл весь каталог университетской библиотеки, но ничего подходящего не нашел.

В библиотеке имелись толстые книги, посвященные плазме, но это были либо учебники, либо монографии, щедро заполненные математическими формулами. Читать подобные книги может только хорошо подготовленный человек, знающий высшую математику. Моему случайному знакомому журналисту мало что дали бы эти затейливые кривые, многоэтажные формулы и таблицы, которыми были усеяны страницы специальных книг. Ему нужен был простой рассказ о плазме.

Но я не сдавался. Вечером этого же дня побывал в главном каталоге Библиотеки имени В. И. Ленина. И там ждало меня разочарование. Научно-популярных книг о плазме и ее применении не оказалось даже здесь.

Когда я позвонил журналисту и рассказал о своей неудаче, то услышал от него такой ответ:

— Жаль, конечно, что так получилось! Но читатели нашей газеты не могут ждать, когда физики раскачаются написать популярную книжку о плазме. А она так нужна! Ну, а мою беседу с академиком Арцимовичем решили поместить в газете как обычное интервью…

И вот в моих руках газета. В глаза бросается заголовок, набранный красными буквами: «Что такое плазма?» Под ним одна небольшая колонка текста с высказываниями Льва Андреевича Арцимовича.

«Каждому, вероятно, известно, — прочел я, — что все вещества в природе находятся либо в твердом, либо в жидком, либо в газообразном состоянии. А нет ли еще какого нового, четвертого состояния вещества?

Оказывается, есть. В этом случае вещество находится в виде так называемой плазмы…»

И дальше академик Арцимович рассказывает, что такое плазма, перечисляет основные ее применения. Просто, понятно

и… коротко.

По четкости мысли, образности изложения, умению выразить сложное через простое чувствовалось, что говорит именно академик Арцимович. Его лекции и доклады мне не раз приходилось посещать.

И все же мне стало немного обидно. Обидно за плазму, за то, что о ней слишком мало говорят и пишут наши популяризаторы науки. А плазма — сто́ящий герой для научно-популярной книги. Герой со своей обширной историей, богатым настоящим и замечательным будущим. И хотя само слово «Плазма» как обозначение физического понятия живет еще только сорок лет (его ввел в 1923 году известный американский физик И. Ленгмюр), люди давно пользуются ее помощью, ее благами. Целый ряд научных открытий был сделан благодаря тому, что вещества могут находиться в четвертом, плазменном состоянии. Тысячи удивительных машин и приборов работают потому, что в них «впряжена» плазма.

«И очень обидно, — думал я, читая газетную статью, — что о плазме почти не написано книг для рядового читателя, для читателя-нефизика».

И все же не эти размышления заставили меня испробовать перо и начать свой рассказ о плазме.

Наука о плазме сравнительно молода. Но человек уже сумел добиться больших успехов в ее покорении. Однако главные достоинства, главные «козыри» плазмы раскроются в будущем. Сейчас ученые прилагают огромные усилия, чтобы это будущее приблизить, заставить осуществиться раньше.

Для этого нужно, чтобы ряды покорителей плазмы множились.

Кто питает науку новыми силами, новыми энтузиастами?

Молодежь, школа.

Именно для тех, кто молод, кто еще учится сейчас в школе, прежде всего и написана эта книжка.

И если среди ее читателей найдутся такие, которые, перевернув последнюю страницу, заинтересуются удивительным миром четвертого состояния вещества и захотят узнать о нем побольше, я буду считать, что не напрасно написал свой рассказ о плазме.

Глава I
Прежде чем говорить о плазме

Легенда о Фалесе Милетском

Две с половиной тысячи лет назад в Древней Греции жил один замечательный ученый. Звали этого ученого Фалес. Родился он не в Греции, а в малоазиатском городе Милете, поэтому современники звали его Фалесом Милетским.

Ученый этот сделал немало открытий в самых различных науках — в арифметике, геометрии, астрономии. Это он первый доказал, что углы у основания равнобедренного треугольника равны между собой, это ему принадлежит доказательство известной теоремы о равенстве треугольников, у которых одинаковы одна сторона и два прилежащих к ней угла.

Славу выдающегося ученого Фалесу принесла, однако, не геометрия, а наука, которой тогда увлекались многие, — астрономия.

В 585 году до н. э. ученый предсказал солнечное затмение. До него никому в Греции не удавалось этого сделать. Фалес первый установил также и то, что год на Земле равен 365 дням.

Все эти открытия, которые для нас являются азбучными истинами, в те времена были большим шагом в познании природы.

Но о Фалесе Милетском я заговорил совсем по другой причине. С именем этого ученого связана легенда, которая имеет отношение к тому, что будет рассказано в этой книжке.

У Фалеса Милетского была дочь. Отец старался воспитать ее старательной и трудолюбивой, поэтому заставлял выполнять всевозможную домашнюю работу: готовить пищу, ткать, наводить в доме чистоту и порядок.

Однажды дочь пряла шерсть. В ее руке ловко кружилось веретено. Веретено было особенное. Оно было сделано не из дерева, а из особой ископаемой смолы светло-желтого цвета — янтаря.

Во время работы к веретену прилипло так много шерстинок, что девушка решила обтереть его шерстью. Но что за чудо? Чем больше терла она веретено, тем больше кусочков шерсти к нему прилипало. Некоторые наиболее легкие шерстинки даже подскакивали к веретену со стола.

О «чуде» дочь рассказала отцу. Тот проверил ее рассказ и приписал янтарю особые силы, способные притягивать шерсть. Эти силы он назвал янтарными. А так как янтарь по-гречески «электрон», то и непонятные тогда и таинственные силы стали называться электрическими.

Так, если верить легенде, было открыто электричество.

Как шло дальше познание природы электричества, известно уже любому восьмикласснику, поэтому я расскажу об этом коротко.

Об электричестве после Фалеса Милетского заговорили лишь

в XVII веке, то есть более чем через два тысячелетия. Стали изучать непонятное явление и обнаружили, что такие же свойства, как у янтаря, есть и у других тел — сургуча, каучука, стекла.

Но сразу же «электрические» тела стали удивлять ученых. Пришлось разбить их на две группы, потому что одни тела вели себя как янтарь, а другие — как стекло. Значит, и электричество было двух сортов: «янтарное» и «стеклянное». Позднее заряды, возникающие у янтаря, стали называть отрицательными, а «стеклянные» — положительными.

Ничего не зная о природе электричества, ученые уверенно демонстрировали опыты, в которых наэлектризованные тела словно оживали. Янтарная и стеклянная палочки, подвешенные на нитях, притягивались друг к другу; если же рядом оказывались палочки, заряженные электричеством одного и того же «сорта», например две стеклянные, они взаимно отталкивались.

— Чудеса, — говорили зрители, наблюдавшие за опытами.

Ученые только пожимали плечами. Они знали так мало, что сами были не прочь назвать электричество чудом.

Но никакого чуда не было. Просто тогда наука только начинала выходить из пеленок и еще была не в состоянии объяснить вещи, которые сейчас понятны каждому школьнику.

Беспокойное хозяйство «неделимого»

Давайте ответим на такие два вопроса: как должен был Фалес Милетский объяснить дочери странное поведение янтарного веретена, знай он современную теорию строения вещества? И второй вопрос: что должны были в этом случае рассказывать ученые XVII века во время опытов с заряженными телами?

Чтобы ответить на эти вопросы, нужно заглянуть в глубь микромира, узнать, из чего состоят окружающие нас тела.

Уже в Древней Греции, правда после смерти Фалеса, ученые говорили, что материя, все тела состоят из атомов — мельчайших, абсолютно плотных, неизменяющихся частиц. Друг от друга атомы отличаются только формой. Они — неделимы. Об этой особенности атома говорит само название. Атом по-гречески значит «неделимый».

Сейчас от старых представлений об атоме осталось только название. Наука доказала, что атом — сложное физическое тело, он состоит из различных частиц, каждая из которых обладает

своим «характером». В центре атома находится ядро, в котором сосредоточена вся масса атома. Вокруг ядра вращаются электроны, которые образуют так называемую электронную оболочку атома.

Предположим, мы создали прибор, посмотрев в который, можно было бы увидеть атом вместе с ядром. Чтобы ядро стало видимым, заняв пространство, скажем, в одну десятую миллиметра, прибор наш должен увеличивать в добрый десяток миллиардов раз. Так мало́ ядро!

Где же в этом случае окажутся электроны? Они будут отстоять от этого увеличенного ядра метров на десять, не меньше. Так велик атом по сравнению с ядром!

Выходит, древние греки ошибались, утверждая, что атом состоит из абсолютно плотной, неделимой массы.

Почему же электроны не улетают, если они так «далеко» отстоят от центра?

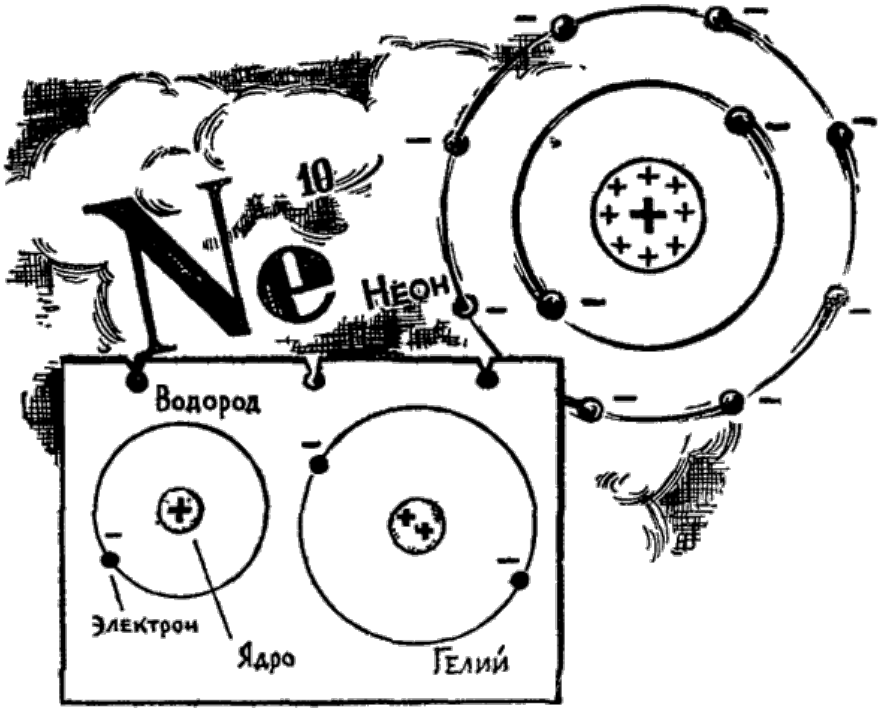
Между ядром и электронами существуют силы притяжения. Ядро несет в себе положительный заряд, электроны — отрицательный, а, как известно, разноименные заряды притягиваются. Не «падают» электроны на ядро потому, что они вращаются вокруг ядра. Ведь и Земля не падает на Солнце, хотя испытывает колоссальное притяжение.

Атомы различных элементов не похожи друг на друга. И ядра у них имеют разный заряд и вес, и число электронов у них неодинаково.

Разобраться в этом вопросе будет легко, если посмотреть на Периодическую систему элементов Менделеева. Великий русский ученый составил ее в 1869 году. Все известные тогда элементы он расположил по строгому, научно обоснованному порядку.

На первом месте в этой таблице стоит водород. У него самый легкий атом. Затем идут гелий, литий и другие элементы по мере возрастания их атомных весов.

Современная наука считает: каков порядковый номер того или иного элемента в системе Менделеева, столько и электронов «кружится» вокруг ядра. Значит, у водорода есть всего один электрон, у гелия — два, у лития — три, у неона — десять. Соответственно этому число положительных зарядов ядра неодинаково. Оно точно равно числу электронов.



У электронов, которые непрерывно совершают свой бег вокруг ядер, тоже существует строгий порядок. Как планеты солнечной системы имеют каждая свою орбиту, так и электроны распределены по своим орбитам вращения. Ученые установили, что на ближайшей к ядру орбите может быть не более двух электронов. Остальные, если они есть у атома, располагаются на других орбитах, более удаленных от ядра. На этих орбитах тоже может быть вполне определенное число электронов на каждой.

Я подробно рассказываю о сложном «атомном хозяйстве» потому, что без этого трудно понять, как возникает плазма и почему она (и не только она) излучает свет.

Пожалуй, теперь вы сами можете разгадать тайну электризации янтарного веретена, натертого шерстью.

В самом деле, почему янтарное веретено оказалось заряженным отрицательным электричеством? Очевидно, потому, что у него оказался избыток электронов.

Натирая шерстью янтарь, мы «отбираем» электроны у атомов шерсти и переносим их на поверхность янтаря.

Со стеклом получается иное: натирая его кожей, мы «сдираем» с поверхности стекла электроны. Недостаток электронов в стеклянной палочке тоже сказывается: в ней остается больше положительно заряженных ядер атомов и ведет себя палочка тоже как заряженное тело, но заряженное другим «сортом» электричества.

Из этого разговора можно сделать два важных вывода, которые нам пригодятся, когда мы заглянем внутрь плазмы.

Во-первых, электроны не так уж «навечно» привязаны к своим атомам. При известных условиях их можно отделить.

Во-вторых, если мы у тела или отдельного атома отнимем один или несколько электронов, то «остаток» оказывается заряженным положительно; добавка же электронов сверх положенного делает тело заряженным отрицательно.

Итак, секрет электризации тел нами раскрыт, механизм появления зарядов ясен.

Теперь нужно объяснить, почему заряженные тела влияют друг на друга, почему они взаимодействуют. Какие нити связывают ядро и электроны атома или янтарное веретено и кусочки шерсти, лежащие на столе? Почему наэлектризованные стеклянная и янтарная палочки, оказавшись по соседству, стремятся друг к другу, а две стеклянные палочки стараются разойтись, оттолкнуться?

Ответить на эти вопросы можно только тогда, когда уяснишь себе, что такое электрическое поле.

Поле с невидимыми бороздами

В школе на уроке физики вам, наверное, демонстрировали такой опыт: брали обыкновенный магнит, клали на него лист плотной бумаги или картона и посыпали его железными опилками. Потом, когда встряхивали лист, опилки, как по волшебству, образовывали красивый узор.

Учитель объяснял вам, что причина этого явления состоит в том, что вокруг магнита существуют магнитные силы, или магнитное поле. Благодаря этому кусочки железа намагнитились и заняли места вдоль магнитных силовых линий.

В природе существует не только магнитное, но и электрическое поле. Оно — непременный спутник любого электрического заряда. Собственно, мы узнаём о существовании заряда по электрическим силам, которые обнаруживаются вокруг него, по электрическому полю, которое возникает одновременно с возникновением заряда.

Электрические силы влияют на любой заряд, который попал в пространство, где существует поле. Предположим, мы наэлектризовали стеклянную палочку. Вдруг около нее оказывается пылинка, на которой «осели» электроны, зарядившие

эту пылинку отрицательным электричеством. Ее неудержимо потянет к стеклянной палочке. Сделают это силы поля.

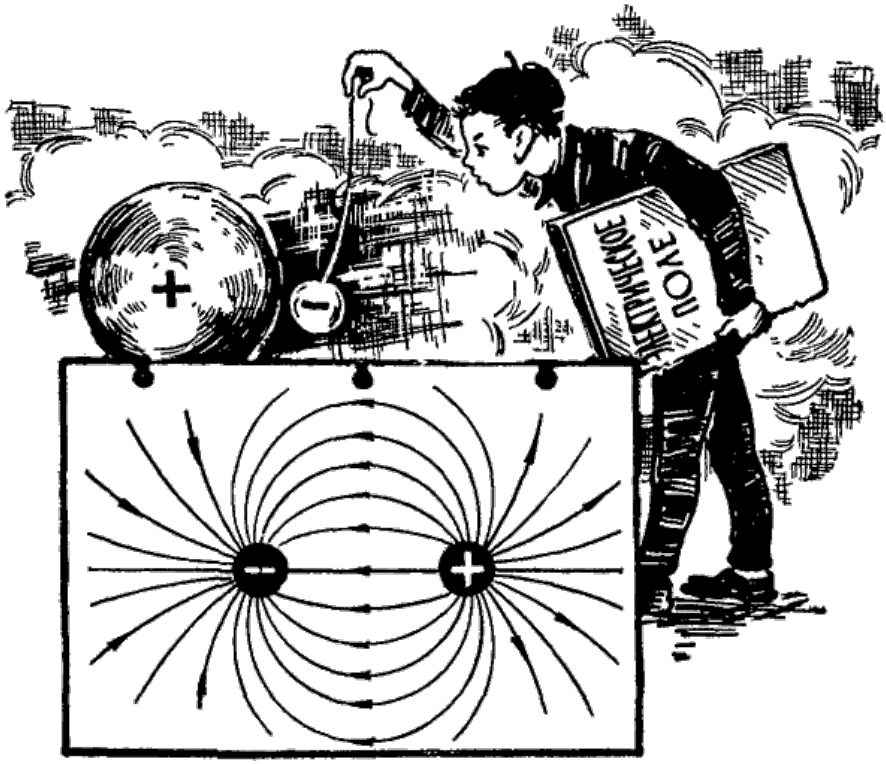
Если бы палочка была не стеклянной, а янтарной, то есть несла бы не положительный, а отрицательный заряд, то силы поля погнали бы пылинку прочь от палочки. Конечно, и пылинка отталкивает палочку, но она почти невесома, а палочка массивна и сдвинуть с места такую тяжесть не так просто.

Это легко понять из такого сравнения: вы подплыли к барже, потом уперлись в ее борт ногами и оттолкнулись. Барже хоть бы что, она осталась на месте, а вы оказались в нескольких метрах от нее.

Теперь легко понять, почему к янтарному веретену в опыте Фалеса Милетского прыгали легкие шерстинки. Благодаря электрическому полю на ближайших к веретену шерстинках скопились положительные заряды. Их потянуло к отрицательно заряженному веретену. Электрические силы преодолели силы тяжести, и шерстинки начали прыгать на веретено.

Когда заряженные тела «равноправны», например две стеклянные палочки, то электрические силы заметно отклоняют и то и другое тело. Поэтому мы и видим, как притягиваются или отталкиваются обе заряженные палочки.

Чтобы лучше разобраться в том, как взаимодействуют друг с другом заряженные тела, английский физик Фарадей предложил изображать электрические поля с помощью линий. Чем больше электрические силы, тем гуще располагаются электрические силовые линии в данном месте.



На рисунке показана картина поля между двумя разноименно заряженными телами. Электрические силовые линии наиболее густы вблизи зарядов. Выйдя из одного заряда, например, положительного, они веером расходятся в стороны и вновь сходятся в другом заряде.

Можно получить равномерное электрическое поле. Для этого нужно взять две металлические пластины, поместить их одну против другой и зарядить разноименным электричеством. Силовые линии, как видно из второго рисунка, распределяются между пластинами равномерно.

Давайте поместим мельчайший электрический заряд в пространство между пластинами. Если это будет отрицательный заряд, например, электрон, то электрические силы неудержимо увлекут его вверх, к положительно заряженной пластине. Заряд противоположного, положительного знака будет двигаться к нижней пластине.

Силовые линии показывают направление действия электрических сил. Вдоль этих линий и движутся в электрическом поле заряды.

Образно выражаясь, силовые линии — это невидимые бороздки, по которым катятся заряды. Уйти из борозды, изменить направление движения электрический заряд не может. Он во власти сил поля, он не может двигаться, куда ему вздумается.

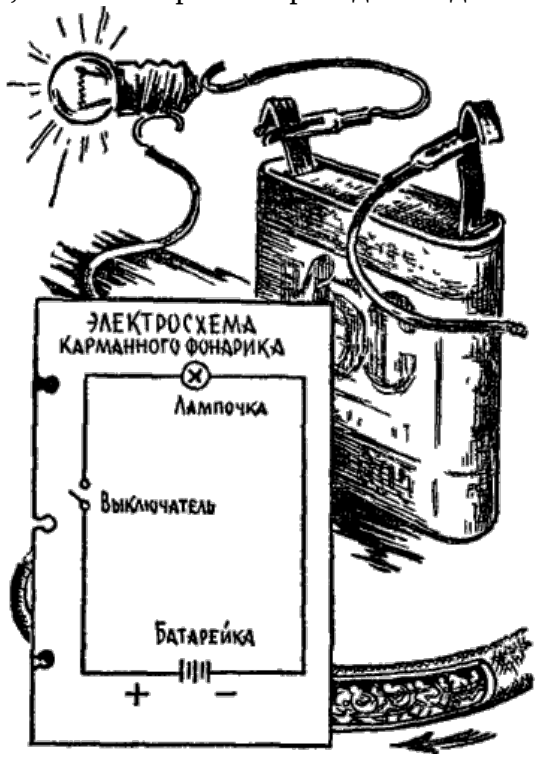
«Массовое» упорядоченное движение электрических зарядов и образует электрический ток.

Возьмем обыкновенную батарейку от карманного фонаря. Подключим к ней лампочку. Она загорится. Почему?

Внутри батарейки идут химические превращения веществ. Благодаря им на одном зажиме создается избыток электронов, на другом — недостаток. Но электроны с отрицательного зажима не могут «перепрыгнуть» по воздуху на положительный — слишком велико сопротивление воздушной среды.

Другое дело, когда мы соединим полюса батарейки проводами. В металле много свободных электронов, не связанных с атомами. Электрические силы поля подхватят эти электроны и заставят их двигаться по проводнику. В цепи возникнет ток,

который тотчас начнет совершать работу — заставит светиться нить лампочки, начнет нагревать провода и т. д.



А источник тока — батарейка — будет добросовестно выталкивать в цепь все новые и новые электроны, расходуя заключенную внутри нее химическую энергию.

Газ — изолятор, но в нем тоже может возникать ток. Как это происходит, вы узнаете позже, когда будет ясно значение слова «плазма».

Глава II
Четыре состояния вещества

Что могут рассказать снежинки

Я сижу у окна и смотрю, как пушистые, почти невесомые снежинки падают на широкий карниз, который тянется вдоль окон четвертого этажа нашего дома. Снежинок много, они как белые мухи летают за окном и, утомившись, садятся на первые попавшиеся предметы — на перекладины пожарной лестницы, на выступы кирпичной стены, на изгибы сточной трубы. Но больше всего их на карнизе; на нем снежинки еще с утра начали вязать белопуховый шарф — и теперь этот шарф накинут на плечи всему дому и будет украшать его до весны.

Я открываю форточку, и несколько снежинок опускаются на мой стол. Мне не удается даже как следует рассмотреть эти изящные, изумительно правильные снежные звездочки. Едва приземлившись, они на моих глазах превращаются в капельки воды.

Мысленно пытаюсь я проследить жизнь этих недолговечных созданий природы. С чего она начинается? Решить это так же трудно, как трудно в кольце найти начало и конец.

В воздухе, которым мы дышим и который бьет нам в лицо, когда мы мчимся на лыжах с крутой горы, носятся многие миллиарды миллиардов молекул воды. Молекулы эти по устройству нехитры: в каждой из них объединились в одну семью два атома водорода и один атом кислорода.

Благодаря солнечному теплу вода даже зимой испаряется, превращаясь в молекулы-одиночки, в газ.

Влажный и теплый воздух поднимается от земли вверх, при своем движении он расширяется и теряет тепло. На высоте пять — семь километров молекулы воды, бывшие ранее одиночками, вновь соединяются в большие группы, снова образуют мельчайшие капельки воды. Если вверху очень холодно, то вместо капелек могут возникнуть крохотные кристаллики льда.

Вы не задумывались над тем, из чего состоят причудливые нагромождения облаков? Из таких вот мельчайших капелек воды или кристалликов льда.

Но вот в воздухе повеяло холодом. Капельки воды замерзают

и начинают быстро расти. К ним примыкают другие, еще не замерзшие капельки воды, довольно быстро превращая еле видимый кристаллик в снежинку причудливой формы.

Миллиарды соединившихся воедино молекул образовали мельчайшую капельку воды, миллионы таких капелек создали снежинку, которая упала ко мне на стол и растаяла. Через несколько минут на столе не останется и следа от этой капли. Молекулы воды начнут новое путешествие по кругу.

Я сознательно рассказал так подробно о снежинках. Их рождение, жизнь и гибель тесно связаны с превращениями вещества, в данном случае воды, с переходом ее из одного состояния в другое.

Кристаллы, из которых построена снежинка, — это твердое состояние воды, капелька на моем столе — жидкое ее состояние, и, наконец, в третьем, газообразном состоянии, вода оказалась после того, как капелька испарилась, исчезла со стола.

Не все вещества так легко переходят из одного состояния в другое.

Возьмем, например, азот — газ, который составляет четыре пятых воздуха. Как его ни замораживай, он ни за что не хочет сжижаться. И лишь при температуре двести десять градусов ниже нуля он становится жидкостью. Такого холода не бывает даже и в Антарктиде. Но ученые научились добывать «искусственный» холод и с его помощью заставлять азот превращаться в жидкость.

И вот в дьюарах — специальных сосудах с двойными стенками — жидкий азот путешествует с завода, где его получили, к различным потребителям. Нужен он и в лабораториях, где занимаются изучением плазмы. Например, для вымораживания паров ртути из разрядных трубок, куда эти пары попадают при работе ртутных насосов.

Твердые тела тоже неохотно расстаются со своим состоянием. Если кусок олова превращается в жидкость при температуре 232 градуса выше нуля, то медь начинает плавиться только при 1073 градусах.

Люди давно научились превращать вещества из одного состояния в другое. Научились и умело этим пользуются. Вспомните, как оловом паяют различные детали. Зачистят место стыка, покроют расплавленным металлом, и тот, затвердев, прочно соединяет детали.

Каждому из нас приходилось видеть, как продавщицы мороженого достают из бело-голубых ящиков любимое лакомство, завернутое в бумагу. Несмотря на жару, мороженое не собирается «раскисать», переходить из твердого состояния в жидкое. Почему? Загляните в ящик, и вы увидите куски

дымящегося сухого льда, которым переложены пачки мороженого. Это углекислота — бесцветный газ, который при «морозе» 78,9 градуса превращается в лед. Испаряясь, он забирает от мороженого тепло, не дает его температуре повыситься.

Это пример того, как твердое вещество может превращаться в газ, минуя жидкое состояние.

Физика объясняет

Что же изменяется при переходе веществ из одного состояния в другое? Состав вещества? Нет. Он остается прежним. Молекулы льда, пара и обыкновенной воды одинаковы. Газообразная двуокись углерода и сухой лед имеют одинаковый химический состав. В чем же дело?

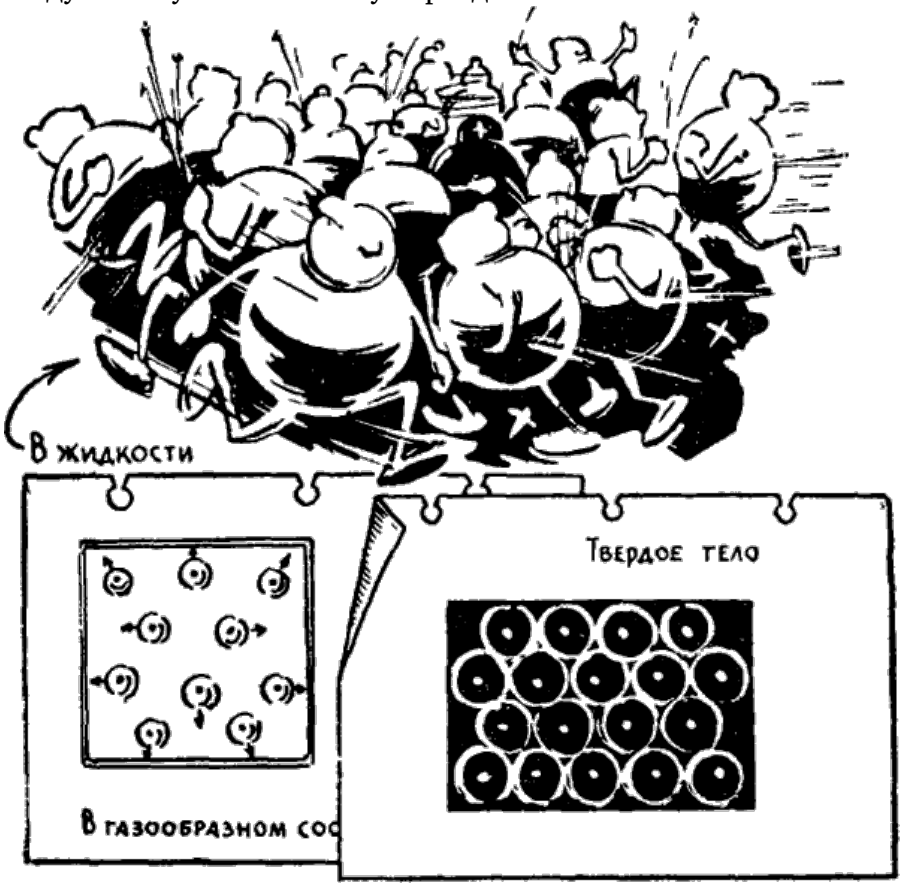
Ответ на этот вопрос можно найти, если разгадать, как молекулы вещества взаимодействуют друг с другом.

Вот перед нами книга, стакан, ножницы — целый набор твердых предметов. Почему молекулы, из которых они состоят, не рассеиваются в воздухе, а сами предметы не рассыпаются, как домики, сделанные детьми из песка? Задумывались ли вы над этим вопросом? А вот и ответ на него, который дает физика: молекулы твердых тел прочно «держатся» друг за друга, между ними существуют так называемые силы сцепления, зависящие от строения и свойств атомов. И хотя для ученых в этом вопросе остается еще мною невыясненного, бесспорно одно: силы сцепления есть, причем у твердых тел они велики, и именно им обязаны твердые тела своей прочностью, способностью сохранять форму.

У большинства твердых тел молекулы располагаются в определенном порядке. Этот порядок назван кристаллической решеткой вещества. Но это не значит, что молекулы и атомы, из которых построено твердое тело, неподвижны. Нет, они все время колеблются, только размах этих колебаний невелик.

В жидкостях — воде, спирте, бензине, растительном масле — «дисциплины» меньше. В них молекулы тоже довольно крепко «держатся» друг за друга, но ведут себя иначе: если в твердом теле их можно сравнить со стройными шеренгами спортсменов на параде, то в жидкости они похожи на неорганизованную толпу. Здесь они беспрестанно движутся, снуют туда-сюда, хотя каждая из них, находясь в непосредственной близости от соседних двух-трех молекул, постоянно испытывает их притяжение. Стоит

открыть кран, и жидкость потечет из сосуда: силы притяжения между молекулами не смогут преодолеть сил тяжести.



Близость молекул друг к другу в твердых телах и жидкостях облегчает переход электронов от одного атома к другому, соседнему. Если это происходит легко, то тело ведет себя как проводник тока, и наоборот, если электроны с трудом отрываются от атомов, то тело является изолятором.

Среди твердых и жидких тел, которые, как мы выяснили, имеют «тесное» расположение молекул, много металлов, являющихся хорошими проводниками электричества. В металлах много свободных электронов, которые с приложением сил электрического поля начинают двигаться «гурьбой», образуют ток.

У жидкости и твердых тел есть один общий признак: если их сжимать или нагревать, плотность их меняется мало. Почему? Все потому, что молекулы у этих тел расположены сравнительно близко друг от друга и силы, которые держат их вместе, достаточно велики, поэтому изменить расстояние между молекулами намного не удается. Нагревая твердое тело, можно заставить молекулы совершать большие колебания и даже

превратить это тело в жидкость, но объем при этом все равно изменится мало.

Совсем другое дело — газы. Если откачать из стеклянного баллона 99,99 процента всего газа, то оставшиеся молекулы равномерно распределятся в предоставленном объеме. Плотность газа может уменьшаться неограниченно. Проверить это может каждый. Откройте флакон одеколона или духов и отойдите в противоположный угол комнаты. Вскоре вы почувствуете запах духов: испарившись, они заполнили всю комнату. Но в то же время трудно будет заметить, что уровень жидкости во флаконе изменился.

В чем причина такого поведения газов?

По-прежнему в силах сцепления между молекулами. У газов эти силы тоже есть, но они очень малы, потому что молекулы газа расположены друг от друга значительно дальше, чем в жидкостях и твердых телах.

В воздухе, например, молекулы так далеки друг от друга, что между двумя соседними молекулами можно поместить их еще десяток. Поэтому-то они так легко «разбегаются» в разные стороны.

Нужно обратить внимание еще на одно свойство тел в третьем, газообразном состоянии: все они при обычных температурах не проводят электричества; иными словами, газы — хорошие изоляторы.

Понять это тоже нетрудно. Молекулы газа находятся далеко друг от друга, и электронам, этим мельчайшим носителям электричества, трудно оторваться от своих атомов.

«А металлы, — могут спросить меня, — не перестанут быть проводниками, если их испарить?»

Оказывается, перестанут. Превратившись в газ, они «отказываются» пропускать через себя электрический ток. Такое поведение объясняется увеличением расстояния между атомами, благодаря чему заряды не могут передаваться от одного атома к другому.

Вот мы и познакомились с тремя состояниями вещества, уяснили основные черты их характеров.

Теперь настало время начать разговор о главном действующем лице нашей книги — о плазме.

Плазма — четвертое состояние вещества

Люди давно научились делать сами многое из того, что есть в природе в готовом виде.

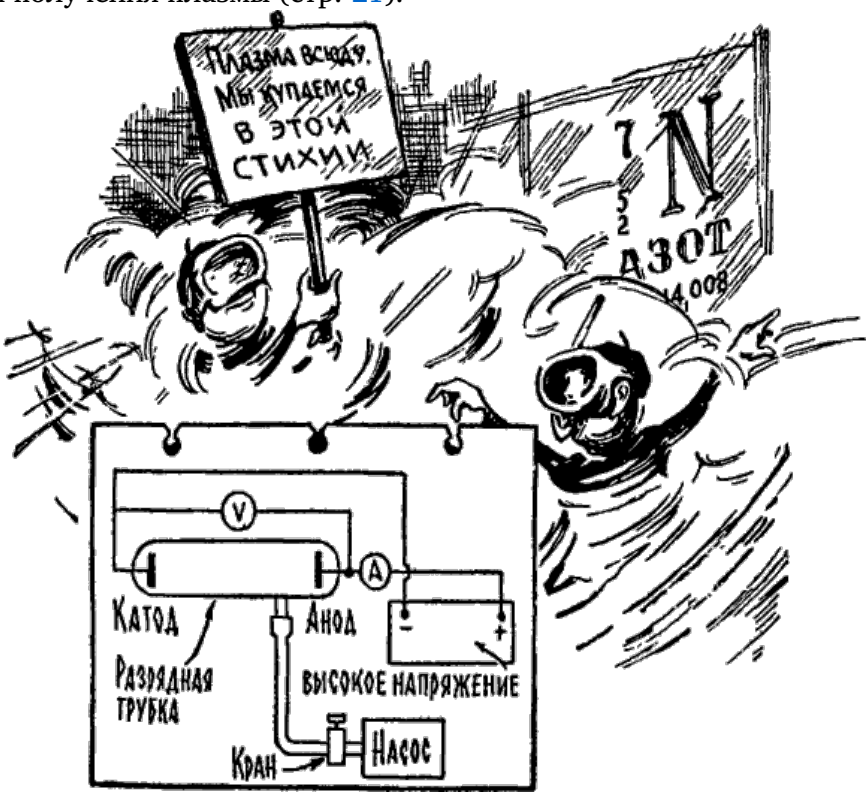
Потребовалось заложить фундамент для нового дома — делают бетон. Для этого нужны цемент, песок, щебень и вода. Искусственный камень — бетон вполне заменяет природный, например, гранит.

Раньше люди одежду делали из волокон растений или шерсти животных. В наше время на химических заводах вырабатываются тонны искусственного волокна, шерсти и кожи. По качеству они нередко бывают даже лучше естественных.

Или возьмем электричество. В природной «кухне» его немало. Но человек не собирает его из атмосферы, не ждет, когда начнется гроза, а получает его миллиардами киловатт-часов на тысячах электростанций. И здесь разум людей сумел превзойти природу. Есть в природе и плазма — вещество в четвертом состоянии. Но стоит ли гоняться за природной плазмой — тем более, это дело нелегкое, — если можно получить плазму искусственную? Не стоит.

Все знают, что для того, чтобы изготовить что-нибудь, нужны, кроме умения, еще материал и инструмент.

Посмотрите на рисунок. На нем изображено все необходимое для получения плазмы (стр. 21).



Предположим, мы решили получить плазму в «закупоренном» виде. Для этого из стекла делается разрядная трубка — баллончик, чаще всего цилиндрической формы. В противоположных концах трубки смонтированы электроды — кружочки, которые делаются из листа меди, никеля или вольфрама. Две вольфрамовые проволочки, на которых висят электроды, выходят через стекло наружу.

Любая разрядная трубка имеет специальный стеклянный выступ. Через него механические легкие насоса могут быстро откачать воздух.

Чтобы лед превратить в воду, нужно затратить тепло, энергию. Плазма тоже не получается сама собой; для ее получения нужна энергия, высокое напряжение. Для того чтобы получить высокое напряжение, в сеть включается высоковольтный выпрямитель. Он вырабатывает постоянное напряжение в несколько тысяч вольт.

Когда медные провода соединят «плюс» и «минус» источника с электродами трубки, можно считать, что для начала работы все готово.

А материала для плазмы кругом сколько угодно. Мы купаемся в этом материале.

Плазма получается из газа, значит, обыкновенный воздух тоже может быть «сырьем» для нее.

В стеклянной трубке, в которой должна образоваться плазма, воздух есть тоже. Поэтому не будем тратить время в поисках другого материала и включим нашу установку.

Но что это? Включение высоковольтного источника напряжения ничего не дало. Вольтметр показывает максимум напряжения, которое может дать источник, а тока через разрядную трубку нет. Стрелка амперметра почти не сдвинулась с нуля.

Пока я не буду объяснять причину такого нежелания воздуха превращаться в плазму, а предложу включить насос и начать откачивать воздух из трубки. Его становится все меньше и меньше.

И вдруг трубка вспыхнула белесовато-голубым светом. Стрелка амперметра прыгнула вправо, значит, через трубку пошел ток. Свечение воздуха в трубке стало совсем ярким. Пора остановить насос. Мы достигли цели: остатки воздуха в разрядной трубке превратились в плазму.

Как это произошло? Почему в трубке вспыхнул электрический разряд, стоило из нее откачать побольше воздуха?

Чтобы ответить на эти вопросы, заглянем в пространство между электродами и посмотрим, что происходит в мире

микроскопических частиц газа с момента начала опыта.

Большинство молекул воздуха, имеющегося в трубке, — это азот. В каждой молекуле азота — два атома.

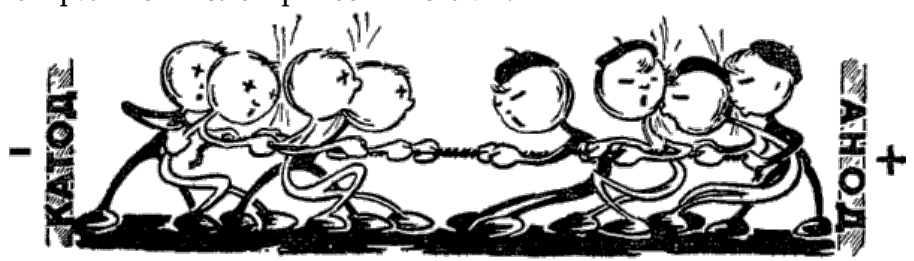
В таблице элементов Менделеева азот стоит на седьмом месте от начала, значит, каждый его атом имеет семь электронов и семь положительных зарядов в ядре.

Таким образом, во всей молекуле газообразного азота, состоящей, как я уже сказал, из двух атомов, имеется по четырнадцати зарядов того и другого знака.

Когда включен источник высокого напряжения, то между электродами разрядной трубки возникает электрическое поле. А мы знаем, как электрическое поле влияет на заряды. Оно заставляет их двигаться.

Приходилось вам видеть народную игру — перетягивание каната? Игроки выбирают ровную площадку, разбиваются на две равные группы, и каждая группа, ухватившись за канат, старается перетянуть противников на свою сторону. Побеждают более сильные и дружные.

С молекулой азота, попавшей в электрическое поле, происходит что-то похожее на эту игру. Все четырнадцать положительных зарядов стремятся влево, к отрицательно заряженному электроду, или катоду, а их «противники» — электроны тянут молекулу вправо, к аноду. Но силы тех и других равны, поэтому молекула оказывается «безразличной», нейтральной к электрическим силам.



Чтобы положить конец такому безразличию молекул газа к электрическому полю, нужно постороннее вмешательство. Его поначалу осуществляет сама природа.

Вспомните хотя бы о космических лучах — потоке частиц огромной энергии, приходящих из безбрежных глубин Вселенной. Мы не замечаем, не видим эти лучи, но они непрерывно врезаются в землю, в здания, в человеческие тела. Энергия их так велика, что даже глубоко под землей приборы фиксируют этих посланцев космоса.

Некоторые из космических частиц «прошивают» и разрядную трубку. При этом они производят «разрушения» — отрывают от попавшихся на пути молекул газа один или несколько

электронов. Этот процесс называется ионизацией.

Как воздействует электрическое поле на свободные электроны, мы уже знаем; оно «подхватывает» их и гонит к аноду. Молекула же азота, лишившаяся электрона, оказывается положительно заряженной, и она устремляется в другую сторону — к катоду.

Но космические частицы — плохие «поставщики» зарядов, они ионизируют малое число молекул в трубке. Поэтому заметного тока заряды, рожденные ударами космических частиц, создать не могут.

Но эти заряды не бесполезны. Особенно электроны, оторванные от молекул газа.

Когда в разрядной трубке много молекул газа, эти свободные электроны не могут сильно разогнаться: они натыкаются на электронейтральные молекулы.

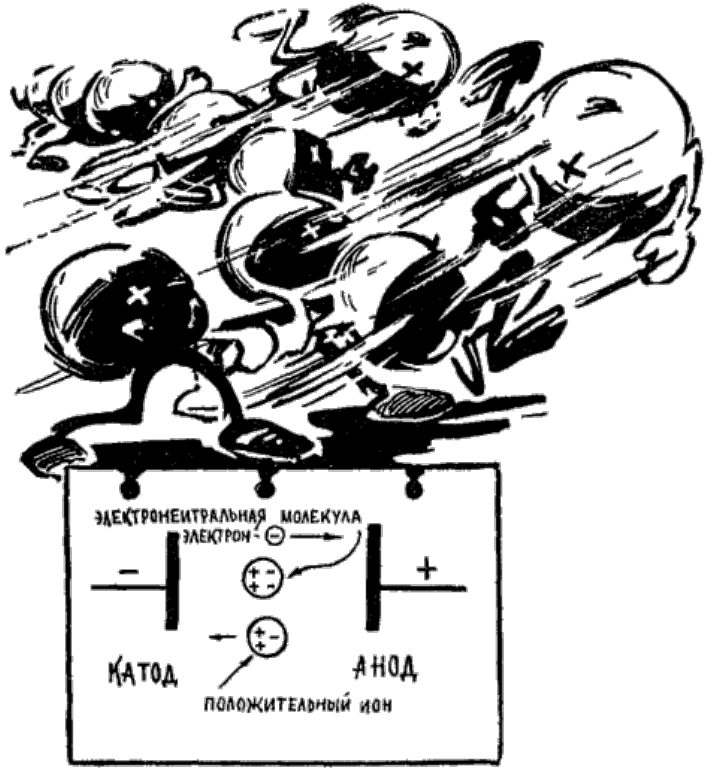
Представьте себе городскую площадь с большим числом снующих туда-сюда людей. Люди не прижаты друг к другу, но их много. Вы захотели перебежать площадь. Только разбежались, наткнулись на одного, потом на другого, на третьего человека. Большой скорости вам развить не удается.

Что-то похожее происходит и с электронами, созданными космическими частицами и притягивающимися к аноду. Они непрерывно сталкиваются с молекулами газа и замедляют свой бег.

Но вот пущен мотор откачивающего насоса. Меньше чем через минуту давление воздуха в трубке падает. Электронам, которые по-прежнему возникают в разрядном промежутке, становится значительно свободнее. Под влиянием электрических сил электроны теперь разгоняются до большой скорости. С молекулами газа теперь сталкиваются они реже, но зато их удары становятся «крепче».

И вот наступает момент, когда электрон, ударившись о молекулу, может сам оторвать, выбить из нее электрон. Эти два электрона — старый и новый — снова разгоняются и выбивают электроны из других встречных молекул. Возникает лавина электронов. Она напоминает снежную лавину в горах, когда брошенный с вершины ком увлекает вниз тысячи тонн снега.

В пространстве между катодом и анодом возникает много лавин электронов, движение зарядов (электронов — к аноду, положительных ионов — к катоду) принимает массовый характер. Газ из изолятора превращается в проводник тока. В трубке возникает плазма.



У плазмы есть один верный опознавательный признак, своя «визитная карточка», по которой ее легко распознать. Это — излучение световых лучей.

Почему плазма светится, я подробно расскажу дальше. Сейчас я только замечу, что это происходит в основном тоже от соударений.

Итак, плазма — это такое состояние газа, в котором изменено внутреннее строение атомов, имеется огромное количество электронов и ионов.

Одно время в науке существовало мнение, что плазма — это не особое состояние вещества, а одна из форм существования газа. Давайте для наглядности выпишем признаки газа и плазмы и сравним их.

> **Газ** (третье состояние вещества) идеальный изолятор, света не излучает, к магнитным силам равнодушен.
>
> **Плазма** (четвертое состояние вещества) хороший проводник тока, излучает свет, испытывает влияние магнитных сил.

Как видите, разница между обычным газом и плазмой велика.

Если при этом учесть, что атомы плазмы имеют измененное внутреннее строение, в результате чего они превратились в положительные ионы, то право «гражданства» у плазмы как особого, четвертого состояния вещества становится бесспорным.

Всегда ли справедлив закон Ома?

То, что плазма не обычный газ, а особое состояние вещества, хорошо подтверждается изучением не только структуры плазмы, но и ее поведения.

Я уже говорил о том, что плазма, в отличие от газа, небезразлична к магнитным силам.

Газ — непроводящая среда, и в него магнитное поле проникает свободно. Плазма — проводник тока, поэтому она является преградой для магнитных силовых линий. Почему?

Электромагнитная теория гласит, что магнитное поле способно производить давление на окружающую среду. Это давление пропорционально квадрату силы поля. Предположим, что с помощью мощного электромагнита мы создали магнитное поле. Оно давит на окружающую среду с определенной силой. Если увеличить ток через катушку электромагнита таким образом, чтобы магнитных силовых линий стало в два раза больше, то это новое поле будет давить не в два, а в четыре раза сильнее. На газ магнитное давление не действует, а на плазму оно влияет. Плазма, как и металлический экран, не хочет пускать в себя магнитные силовые линии.

Благодаря этому плазму можно сжимать магнитным полем, удерживать «стеной» из магнитных силовых линий и выталкивать магнитными силами, словно поршнем.

Специфичность плазмы как особого состояния вещества может быть проиллюстрирована еще одним очень важным фактом.

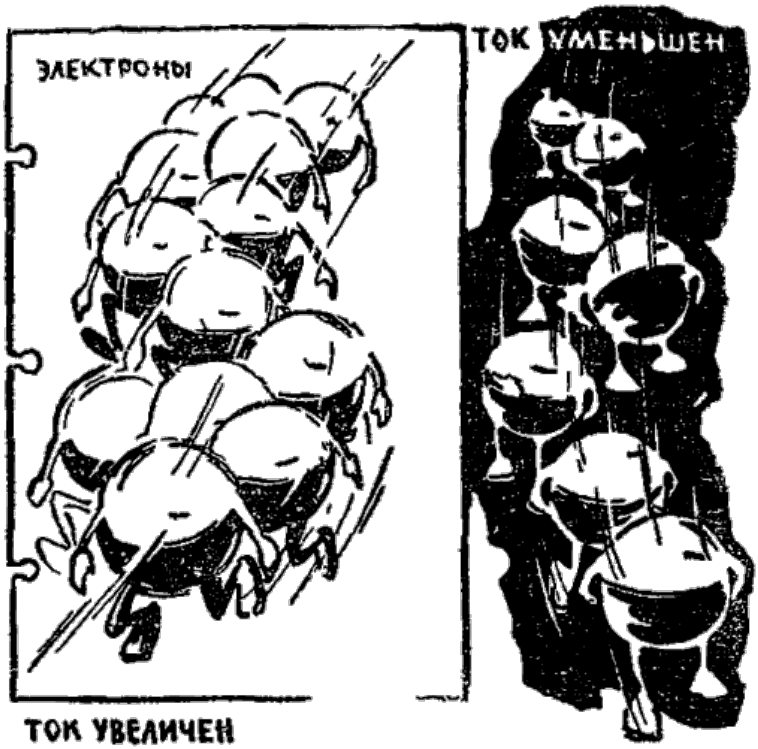
Зажжем разряд в той же самой трубке и таким же способом, как это делали мы выше, когда впервые знакомились с плазмой. Тогда в схеме были включены амперметр, который фиксировал ток через трубку, и вольтметр. Последний включали параллельно разрядной трубке, чтобы знать её напряжение при протекании тока (см. рисунок на стр. 21).

Когда известна величина тока и напряжения, то считают, что известно почти все.

Действительно, в обычной электрической цепи ток и

напряжение зависят друг от друга.

Увеличишь в два раза напряжение, приложенное к электрической цепи, и ток во столько же раз увеличится. Уменьшишь — все получается наоборот.



Такие «взаимоотношения» между током и напряжением объясняются хорошо известным вам законом Ома.

Вот он: $I = V/R$,

где I — сила тока в амперах, V — напряжение в вольтах, R — сопротивление в омах.

Значит, чтобы численно определить силу тока, протекающего по электрической цепи, нужно напряжение на данном участке разделить на сопротивление этого участка.

Чтобы вам лучше понять, почему вдруг я заговорил о законе Ома, я расскажу один случай, который произошел в лаборатории Московского университета, где я работал.

Туда ко мне пришел школьник-восьмиклассник и с восхищением стал рассматривать разрядные трубки, светящиеся всевозможными цветами. В трубках была плазма.

Я рассказал школьнику, что такое плазма, объяснил назначение приборов, с помощью которых она исследуется, и показал различные виды разрядов.

Юный поклонник физики попросил меня продемонстрировать какой-нибудь опыт с плазмой. Я подвел его к

лабораторному столу. Минут через десять для опыта все было готово: разрядную трубку укрепили на двух подставках посредине стола. От нее тянулся толстый резиновый шланг к откачивающему насосу, провода в хорошей изоляции шли от источника высокого напряжения к электродам трубки и к приборам.

— Что мы будем делать? — нетерпеливо спросил гость.

— Проверим закон Ома, — спокойно ответил я.

Школьник удивился. Действительно, какая нужда проверять то, что уже тысячи раз проверено и считается законом физики.

Я включил источник тока, питающего разрядную трубку. Потом дал поработать откачивающему насосу.

Когда внутри трубки вспыхнуло бледноватое свечение плазмы, я попросил школьника записать показания приборов — амперметра и вольтметра.

Потом я спросил его:

— Если увеличить ток через трубку, скажем, раза в полтора, что произойдет с напряжением? Что покажет вольтметр?

Школьник подумал, посмотрел на выписанную формулу закона Ома и уверенно ответил:

— Вольтметр покажет напряжение тоже в полтора раза больше. Этого требует закон Ома.

— Что же, посмотрим!

Я повернул ручку на панели источника питания. Трубка засветилась ярче. Стрелка амперметра отметила увеличение тока.

А вольтметр? Вопреки предсказанию, он стал показывать меньшее напряжение. Я еще больше увеличил ток через разрядную трубку, но вольтметр никак не хотел «исправляться» — он показал еще меньшее напряжение.

— Может, прибор неисправный? — спросил меня мальчик, который никак не хотел верить в это «чудо».

Мысленно я похвалил его: всегда, когда исследователь получает неожиданные результаты, он первым делом должен проверить измерительную схему и убедиться в правильности показаний приборов. Не говоря ни слова, я достал из стоящего рядом шкафа картонную коробку с болтающейся на нитке пломбой.

Вот новый прибор, заменим…

Опыт был повторен. Однако и новый прибор не оправдал надежд. Стрелка его упорно сигнализировала об уменьшении напряжения, тогда как закон Ома требовал, чтобы оно с увеличением тока росло.

Дело было в чем-то другом, и мой гость чувствовал это.

А «секрет» весь заключался в плазме, образовавшейся в

трубке. Убедиться в этом было легко. Достаточно вместо разрядной трубки включить обыкновенное сопротивление, например реостат, и вольтметр добросовестно стал бы показывать увеличение напряжения с ростом тока. Значит, «карты путала» плазма. Она не хотела подчиняться закону Ома. Почему?

Вспомним, как возникает ток в газе.

Редкие одиночки электроны, подхваченные силами электрического поля, разгоняются и, наскакивая на молекулы газа, выбивают из них электроны. Те, в свою очередь, ионизируют другие молекулы. Возникает лавина электронов — ток резко увеличивается. В трубке возникает плазма.

Увеличив ток, мы заставили больше электронов в каждую секунду проходить через амперметр и другие звенья электрической цепи.

Что в этом случае произошло в трубке?

Возросшие электрические силы родили новые лавины электронов и создали новый «отряд» положительных ионов. Число зарядов — носителей электричества — в трубке резко возросло, в связи с чем сопротивление трубки току упало. А раз так, и напряжение, которое мы измеряли между электродами трубки, стало меньше.

Имей разрядная трубка постоянное число электрических зарядов, такого несоответствия между током и напряжением мы бы не наблюдали.

Поведение плазмы в разрядной трубке, которое сбило с толку знакомого мне восьмиклассника, конечно, не должно вызывать сомнения в правильности закона Ома. Закон этот универсален, он справедлив и для плазмы. Только пользоваться им нужно осторожно, иначе не избежать ошибки.

К плазме, хотя она и проводит ток, нельзя подходить с той же меркой, с какой мы подходим к обыкновенному металлическому проводнику. Ее поведение, свойства, характеристики зависят от режима электрического разряда, который определяется и давлением газа в трубке, и величиной приложенного напряжения, и тем, в каком газе осуществляется разряд. Физики скрупулезно взвешивают все эти факторы и могут рассчитать величину тока, напряжения и другие характеристики плазмы при разных режимах разряда.

Попутно нужно отметить, что в последние годы удалось сделать такие разрядные трубки, в которых устанавливается так называемый квазистационарный разряд, который протекает в полном соответствии с законом Ома. Жгут плазмы в этих трубках можно рассчитывать так же, как рассчитывается спираль обыкновенной электроплитки.

Я нарисовал грубую, схематичную картину того, что происходит в разрядной трубке при изменении силы тока. В действительности физические явления в ней значительно сложней. Но и того, что я рассказал, достаточно для объяснения странного поведения приборов во время нашего опыта.

Нежелание плазмы всегда подчиняться закону Ома — это еще одно свидетельство того, что плазма — особое состояние вещества. Законы возникновения плазмы, законы, которые объясняют ее поведение в различных условиях, очень сложны. Ученые разных стран потратили десятилетия на то, чтобы их расшифровать. Работа эта продолжается и сейчас. Современная теория строения микромира — мощное оружие в руках ученых. Именно она позволяет «раскусить твердый орешек», каким является плазма, объяснить многоликость ее существования.

Но прежде чем рассказывать о разных формах существования плазмы, посмотрим, где встречается плазма, каково ее место среди других состояний вещества.

Плазма — всюду!

Таблица элементов Д. И. Менделеева включает в себя 103 элемента. Столько разных «сортов» атомов обнаружено в природе.

Какие же из них самые распространенные? И в каком состоянии они находятся?

Эти вопросы давно волнуют науку. По крупице собирали ученые нужные сведения, пока не ответили на них. Они изучали нашу планету Землю, исследовали метеориты — вестники из межпланетного пространства, старались разгадать тайну космических лучей. Даже свет от Солнца и далеких звезд сослужил свою службу. Обыкновенный свет, на который многие из нас не обращают внимания.

Проделав огромную работу, ученые пришли к выводу, что Вселенная в основном состоит из водорода и гелия. Первого в ней примерно 76, второго — 23 процента. Все остальные элементы по весу занимают чуть побольше одного процента.

А в каком состоянии находятся водород и гелий Вселенной?

В состоянии плазмы.

Сейчас любой физик скажет, что Солнце, звезды, газовые туманности и даже межзвездный газ — это плазма.

В недрах Солнца и звезд бушуют могучие ядерные процессы. Они сопровождаются выделением огромного количества тепла.

Под его воздействием разрушаются электронные оболочки атомов. Ядра оказываются оголенными и представляют собой частицы с положительными зарядами. Это материал для новых ядерных процессов, которые и совершаются внутри звезд непрерывно.

Межзвездный газ, в основном водород, превращается в плазму не благодаря теплу, а по другой причине. Звезды излучают целые потоки световых лучей. Среди них немало ультрафиолетовых — невидимых световых волн с очень короткой длиной волны. Эти лучи, обладающие большой энергией, оказывается, способны отрывать электроны от атомов межзвездного газа и превращать этот газ в плазму.

Мы живем на дне гигантского воздушного океана, со всех сторон окружающего нашу Землю. Если бы вся атмосфера имела ту же плотность, что и на поверхности земли, то ее толщина оказалась бы равной всего лишь восьми километрам. В действительности атмосфера в верхних слоях сильно разрежена, и ее следы удалось обнаружить даже на тысячекилометровой высоте. Правда, уже на высоте ста шестидесяти километров плотность воздуха в миллиард раз меньше, чем на уровне моря.

Солнце — гигантское скопление плазмы, окруженное своей солнечной атмосферой. Верхние горячие слои этой атмосферы называются хромосферой. Они щедро излучают ультрафиолетовые лучи. Более глубокие слои рождают еще более мощное рентгеновское излучение. Эти излучения врываются в земную атмосферу и превращают ее верхние, наиболее разреженные слои в плазму.

Запуск искусственных спутников Земли, полеты космических кораблей позволили получить очень ценные сведения о плазменном «покрывале» Земли. Наибольшая концентрация зарядов оказалась на высоте примерно трехсот километров. Здесь в каждом кубическом сантиметре имеется не менее двух миллионов электронов и ионов, а температура электронов достигает десятка тысяч градусов. Радиоволны, имеющие длину более пятнадцати метров, встретившись с таким слоем плазмы, отражаются от него, как луч света от зеркала. Как известно, это давно используется для связи на далекие расстояния.

До космических полетов ученые считали, что наша планета окружена одним поясом заряженных частиц. Потом открыли второй и совсем недавно третий, отстоящий от земной поверхности на несколько десятков тысяч километров. Их существование ученые связывают с влиянием солнечного излучения и с наличием у Земли мощного магнитного поля. Именно благодаря этому магнитному полю заряженные частицы

— корпускулы, — извергаемые Солнцем, отбрасываются к полюсам и рождают красочные северные сияния. Теперь ученые точно знают, что северные сияния — это свет, излучаемый плазмой.

Выше я не случайно назвал слой плазмы, окружающий Землю, «покрывалом». Плазма небезразлична к магнитным полям. Благодаря этому наша планета как бы изолирована от внешних магнитных воздействий. Кроме того, через плазменную оболочку не способно проникнуть наиболее мощное, а следовательно, и наиболее опасное для всего живого ультрафиолетовое излучение Солнца. Исчезни плазменный пояс вокруг Земли, и наша планета превратится в безжизненную пустыню.

Итак, материя Вселенной на 99 процентов — плазма. Планеты, космическая пыль, метеоры по весу занимают очень скромное место.

Но живем мы на Земле, и поэтому интересно знать, где встречается плазма в наших, земных условиях?

Плазменную «продукцию» постоянно дает сама природа.

Что такое молния, прорезывающая небо во время грозы? Плазма, возникшая в результате разряда атмосферного электричества.

Еще Ломоносов справедливо говорил, что атмосферное

электричество возникает от «трения» мелких частиц, из которых состоят водяные и другие «пары». Это отдаленно похоже на электризацию янтаря, натираемого шерстью.

Ветер постоянно перемешивает воздух и тем самым разделяет электрические заряды, относит их друг от друга.

Чаще всего нижняя часть облака оказывается заряженной отрицательным электричеством. Когда в этом заряде электронов запасется очень много, то между облаком и Землей — этими природными «электродами» — возникает гигантский электрический разряд — молния.

Не оставляет сомнения и то, что и другой вид молнии — так называемая шаровая молния — тоже плазма. Люди много раз наблюдали огненные шары, иногда появляющиеся после грозы; внезапно возникший шар медленно плывет с потоком воздуха, может влететь в окно, в печную трубу и, взорвавшись, поджечь здание или убить человека. Загадка шаровой молнии до сих пор полностью не разгадана, но вполне вероятно, что это тоже плазма.

Но чаще всего мы имеем дело с плазмой, созданной самим человеком.

Пламя газовой горелки и светящиеся буквы реклам, раскаленные струи, вылетающие из сопла реактивных самолетов и космических ракет, и дуга электросварки — все это плазма. Без нее не смогут работать лампы дневного света и автомобильные двигатели, без нее не получат электроэнергию пригородные электропоезда, а фотограф не сделает снимка в сумерках. Без плазмы не обходятся ни машиностроители, ни взрывники, ни химики, ни даже врачи. Она всюду, где человек занят делом, она — верный помощник человека.

Но люди добились этого не сразу. Они много потратили сил, прежде чем покорили плазму.

Глава III
Ток через газы

Искра доктора Воля

Заглянем в далекое прошлое и посмотрим, как удалось человеку получить первую «искусственную» плазму.

…Мы в Англии конца XVII века. Об электричестве знают столько же мало, как во времена Фалеса Милетского. Правда, ученые все чаще и чаще задумываются над загадкой электрических сил, проводят опыты по электризации янтаря и других тел, но это больше напоминает забаву, чем науку.

Еще не была изобретена паровая машина и, кроме силы падающей воды и ветра, люди не знали других источников энергии. Вся деятельность человека, в том числе и научная, была под большим влиянием религии.

Итак, Англия, 1698 год. Некий доктор Воль, как и другие его коллеги-ученые, занимается физическими опытами. Пробует и он электризовать янтарь.

Однажды доктору попался большой кусок этой затвердевшей смолы. Воль решил посильнее наэлектризовать его. Долго натирал он кусок янтаря шерстью, изрядно утомился, но своего занятия не бросал. Вдруг из янтаря выскочила искра длиной не меньше двух сантиметров. «При этом раздался такой звук, точно в печке треснул уголь», — так описывал этот случай сам ученый.

Почему я говорю об этой искорке, полученной более двух с половиной веков назад таким несовершенным способом? Да потому, что это был первый искусственный разряд электричества в газе, первый кусочек плазмы, созданный человеком. Одновременно это был один из первых шагов в развитии учения об электричестве.

Так у природной искры — молнии появился «двойник» на земле — искровой электрический разряд.

Кстати замечу, что само слово «разряд» появилось много позже после опытов доктора Воля.

Почти через полстолетия после этого события житель немецкого городка Лейдена Мушенбрек построил первые кладовые для электричества — лейденские банки.

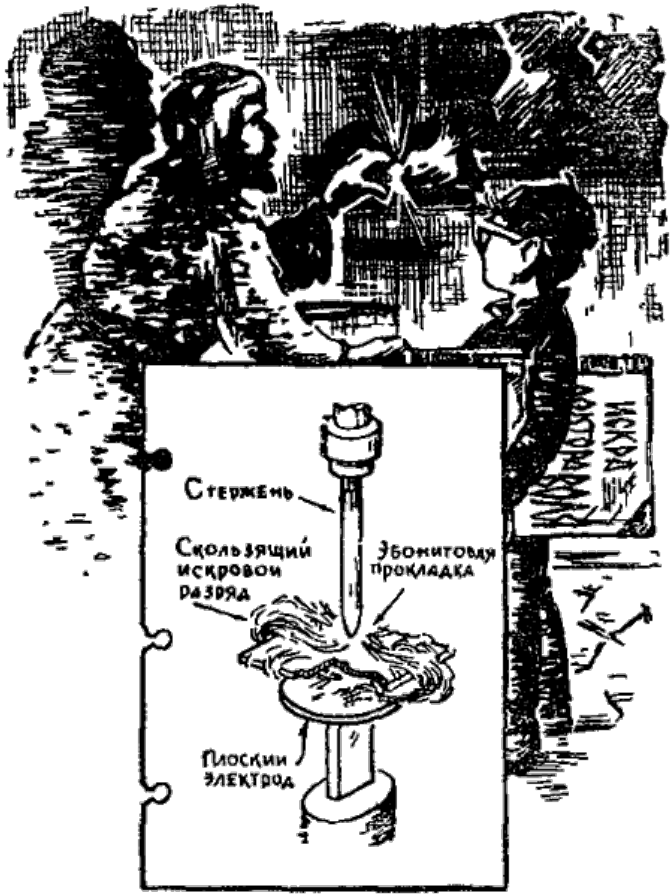
Представьте себе большой круглый стакан из стекла. Внутренняя и наружная поверхности стакана оклеены станиолем

— серебристой бумагой, наподобие той, в которую заворачивают шоколадные конфеты. Это и есть лейденская банка, или конденсатор. Если при помощи проводов подключить к обкладкам этого конденсатора электростатическую машину и начать ее вращать, то на обкладках лейденской банки скопятся заряды противоположных знаков. Если замкнуть накоротко обкладки, заряды уничтожатся. А в момент замыкания возникнет электрическая искра.

Вот отсюда и пошло название «электрические разряды». Оно прочно вошло в нашу речь и сейчас употребляется всюду даже тогда, когда ток через газ получается без каких-либо конденсаторов.

Искровой разряд возникает при большом давлении газов, когда между электродами приложено высокое напряжение. Чтобы пробить слой воздуха толщиной всего пять сантиметров, при электродах-шарах диаметром по метру требуется напряжение в сто тысяч вольт. Чем меньше диаметр шаров разрядника, тем меньшее напряжение нужно для пробоя газа. При искровом разряде в плазме заряды образуют узкие, ярко светящиеся каналы, распространяющиеся с огромной скоростью.

Как только на электродах напряжение достигнет своей первоначальной величины, вслед за первой искрой проскакивает вторая, третья и т. д.



Ученые определили, что внутри безобидной на вид электрической искры температура на мгновение достигает десяти тысяч градусов! Такая температура может быть причиной дополнительной ионизации газа за счет тепла. Поэтому мы вправе считать, что искра — это небольшой кусочек солнца, изготовленный с помощью приборов.

Сейчас ученые получают всевозможные искровые разряды. Некоторые из них обладают такой мощностью, что соперничают с молнией. Создавая их в лабораториях, ученые исследуют механизм развития грозовых разрядов.

Получены и такие искровые разряды, которых нет в природе. Так называемый скользящий искровой разряд получают при разряде между плоским электродом и стержнем, разделенными стеклянной или эбонитовой прокладкой. Разряд обтекает прокладку и создает очень красивое зрелище.

По фигурам, созданным скользящим разрядом, определяют величину напряжения, приложенного между электродами. Это необходимо, например, при исследованиях молний.

В одной из книг, вышедших в России в начале прошлого века, было помещено описание физического явления, ранее не известного науке.

Оно описывалось так:

«…Если на стеклянную плитку или на скамеечку со стеклянными ножками будут положены два или три древесных угля… и если металлическими изолированными направлятелями… сообщенными с обоими полюсами огромной батареи, приближать оные один к другому на расстояние от одной до трех линий, то является между ними весьма яркий белого цвета свет или пламя, от которого оные угли скорее или медлительнее загораются и от которого темный покой довольно ярко освещен быть может…»

Книгу эту издал профессор физики Военно-медико-хирургической академии в Петербурге, а впоследствии академик Василий Владимирович Петров. Приведенные выше слова были первым в мире описанием электрической дуги.

Тогда многие увлекались опытами с электричеством, подобно тому как сейчас увлекаются радиолюбительством. Опыты эти были несложны: люди брали цинковые и медные кружочки, между ними прокладывали суконную ткань, смоченную в уксусе, — и источник электричества готов. По имени изобретателя его называют вольтовым столбом.

Это уже не электростатическая машина с вращающимися янтарными шарами, способная на мгновение зажечь искру, — вольтов столб может создавать в электрической цепи постоянный непрекращающийся ток. Этот ток можно почувствовать, если проводами от вольтова столба прикоснуться к кончику языка. Язык начинает щипать, и чем больше взято металлических кружков, тем сильнее щиплет язык. А если сделать большой вольтов столб, то можно получить искры — более яркие, более «жирные», чем у электростатической машины.

Однако тогда было немного людей, которые в этих опытах видели не только забаву. Среди них был и Василий Петров. Дни и ночи возится он с вольтовыми столбами. Еще не изобретен вольтметр, и ученый, срезав кожу с пальцев, сам становится вольтметром, определяя по силе электрических «уколов» достоинства собранных им батарей.

Академик Петров решается провести особенный опыт. Он превращает в кружочки все свои запасы меди и цинка и собирает столб небывалой длины. Ученый торопится: стоит просохнуть

хотя бы одной из четырех с лишним тысяч прокладок, и придется все начинать сначала.

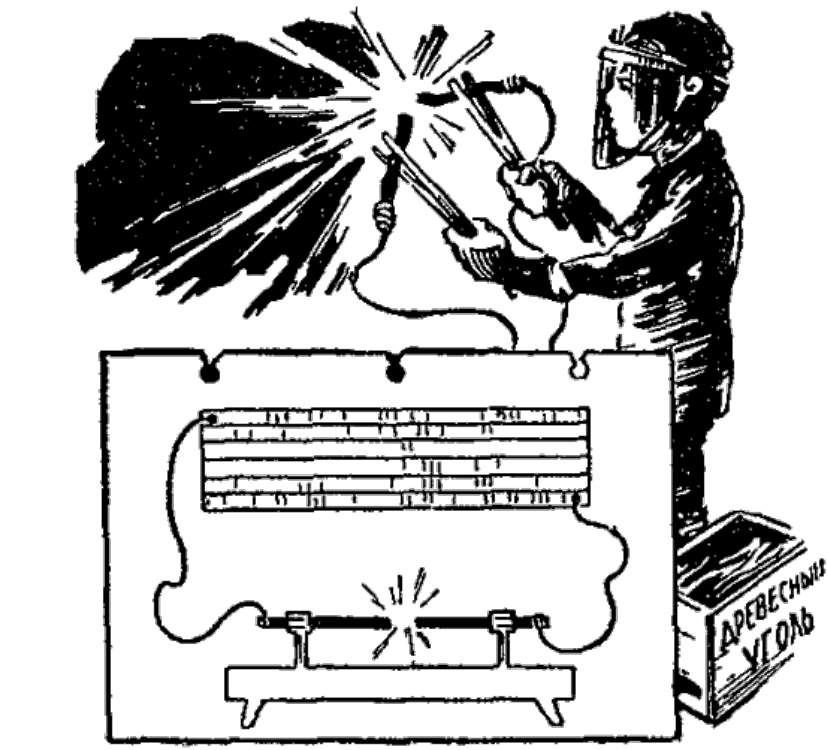
Опыт ученого блестяще удался. Не отдельные искры, а яркое пламя вспыхнуло между угольными электродами. Этот сплошной, слегка изогнутый жгут плазмы позднее был назван дугой.

Работы Петрова были опубликованы только на русском языке, иностранные ученые о них не знали. Поэтому долгое время открытие дугового разряда приписывалось английскому ученому Дэви.

Академик Петров был верным последователем Ломоносова. Как и его великий учитель, он прежде всего думал о том, как и где применить открытое явление.

Поражаешься прозорливости ученого. Создав дуговой разряд, он указал, где его можно применить для освещения.

А когда вместо древесных углей он не поставил ничего, а просто сблизил провода, расплавив их, то добавил: можно использовать и для плавки металлов!



Сейчас посмотрим, что представляет собой плазма дугового разряда. Дуга — это короткое замыкание электродов жгутиком плазмы. Для ее возникновения нужен более мощный источник тока, чем тот, с помощью которого получают электрические искры.

Благодаря высокой температуре внутри шнура плазмы

образование заряженных частиц — ионов и электронов — происходит главным образом за счет соударений молекул газа между собой. Удары так «крепки», что оканчиваются отрывом электронов от атомов.

В последние десятилетия широкое применение получил дуговой разряд при пониженном давлении газа. Такая низковольтная дуга очень похожа на тлеющий разряд, но имеет большую плотность тока.

Тлеющая плазма

Может сложиться мнение, что там, где возникает плазма, обязательно выделяется много тепла, непременно имеет место высокая температура. Действительно, не говоря о Солнце, звездах, ядерных взрывах, рождающих целые моря раскаленной плазмы, даже внутри обыкновенной электрической искры температура на мгновение подпрыгивает до десятка тысяч градусов. Но ведь и жизнь плазмы в искре измеряется ничтожными долями секунды. А сейчас я расскажу о таком электрическом разряде, который рождает плазму, но температура ее чуть-чуть выше температуры человеческого тела.

Разряд этот называется тлеющим. Это название говорит само за себя. Ведь и тлеющие головни нельзя считать жарко горящим костром. Но, как в тлеющем костре идет процесс горения, так и в плазме тлеющего разряда совершаются такие физические процессы, которые дают нам право считать ее вполне «равноправной».

Тлеющий разряд — один из наиболее интересных и своеобразных видов газового разряда. Получается он, как правило, при давлениях газа, значительно меньших атмосферного. Значит, для того чтобы он возник, нужна разрядная трубка и откачивающий насос. Помните опыт, в котором плазма преподнесла сюрприз с законом Ома? Сделал это тлеющий разряд, который мы зажгли в остатках воздуха. Другие виды разрядов тоже, как правило, не подчиняются закону Ома, но в тлеющем разряде эта закономерность обнаруживается наиболее легко.

Если дуга представляет собой жгут плазмы, различные участки которого мало отличаются друг от друга, то тлеющий разряд не таков: в нем легко найти катодные и анодные участки разряда. Приглядимся внимательно к светящейся трубке с тлеющим разрядом. Мы заметим, что анод и катод покрыты тонкой светящейся пленкой. Пленку светящейся плазмы у анода ученые назвали анодным свечением, а пленку у катода — первым катодным свечением.

Почему первым? Разве еще есть катодное свечение? Есть. Оно начинается после темного катодного пространства и называется отрицательным тлеющим свечением.

Если продвигаться от катода к аноду дальше, то за отрицательным тлеющим свечением снова будет несветящийся участок трубки. Это — так называемое фарадеево темное пространство. Оно как бы отделяет катодные части разряда от анодных: слева — катодные, справа — анодные.

Бóльшую часть длины трубки занимает положительный столб разряда. Он тянется от фарадеева темного пространства почти до самого анода. Если каким-либо способом измерить напряжение на отдельных участках разряда, то окажется, что напряжение вдоль разряда падает неравномерно. Самый больший перепад напряжения — несколько сот вольт — имеется между катодом и отрицательным тлеющим свечением, хотя расстояние между ними невелико.

Это говорит о том, что электрические силы в разрядном промежутке распределены неравномерно: вблизи катода они сильнее действуют на заряженные частицы, чем, например, в положительном столбе.

В тлеющем разряде, как и во всяком другом, есть два встречных потока зарядов: электроны движутся к аноду, а положительные ионы — к катоду. Последние вблизи катода сильно разгоняются и, ударяясь о катод, выбивают из него электроны. Эти электроны подхватываются электрическим полем, на своем пути ионизируют газ и заставляют его светиться.

Ученые потратили немало усилий, прежде чем выяснили, почему так неравномерно электрическое поле в пространстве катод — анод, почему движение зарядов напоминает движение воды в порожистой горной реке. Причиной оказалось то, что во время разряда в трубке возникают так называемые пространственные заряды. Например, в темном катодном пространстве оказывается больше положительных зарядов — ионов, потому что электроны значительно легче ионов и электрические силы «выметают» их быстрее, чем ионы. В результате число ионов преобладает над числом электронов и в данном месте возникает положительный пространственный заряд.

Возникают пространственные заряды и в других частях разряда.

Сказанного достаточно для того, чтобы понять сложность поведения зарядов в тлеющем разряде.

Тлеющий разряд привлекает внимание многих ученых. Он давно поставлен на службу человеку. Поэтому, когда вы слышите слова «тлеющий разряд», не думайте, что плазма этого разряда

способна только «тлеть», не принося никакой пользы. Нет, она способна «работать» ничуть не меньше и не хуже, чем плазма других, более мощных разрядов.

Коронный разряд

Современная техника часто пользуется электрическими напряжениями в десятки и в сотни тысяч вольт. Появление устройств на такие напряжения столкнуло специалистов с интересным явлением. Оно выражалось в том, что около металлических деталей, особенно заостренных, находящихся под высоким напряжением, появлялся светящийся слой ионизированного газа — своеобразная корона. Сомнений быть не могло: на этих деталях возникал электрический разряд.

Разряд этот без всякого на то «разрешения» расходовал драгоценные киловатт-часы электроэнергии, мешал правильной работе тех или иных установок.

Чтобы успешно бороться с каким-либо вредным явлением, нужно хорошо его изучить. Ученые справились с этой задачей, и сейчас с коронным разрядом не только успешно борются, но и в определенных случаях заставляют его приносить пользу.

Что же удалось узнать про коронный разряд?

Оказывается, этот разряд возникает только тогда, когда электрическое поле в разрядном промежутке очень неравномерно, искажено. Для этого один или оба электрода должны быть заострены, или, как говорят, должны иметь малый радиус кривизны. Кроме того, в отличие от тлеющего разряда давление газа должно быть достаточно большим.

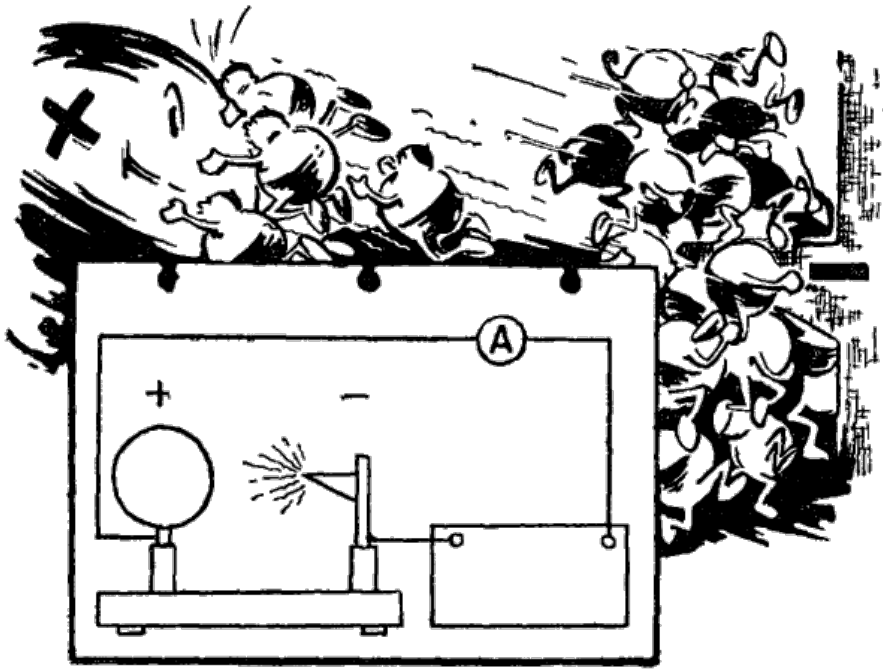
Предположим, мы решили получить коронный разряд в воздухе. Для этого возьмем обыкновенный шаровой разрядник, в котором один шар заменим конусообразным острием.

Подключив к этим электродам источник высокого напряжения, начнем постепенно увеличивать напряжение, приложенное к разрядному промежутку.

Амперметр, еще до появления разряда, покажет очень небольшой ток. Это возник так называемый тихий разряд. Электрические силы, появившиеся в пространстве катод — анод, создали движение ионов и электронов-одиночек, возникающих, например, под влиянием космических лучей. Тихий разряд почти невидим, в нем еще нет плазмы.

Но вот прибавили напряжение. На острие появляется

светящаяся точка. С ростом напряжения она все больше и больше увеличивается, все ярче и ярче начинает светиться. Этот слой плазмы с острыми язычками, прилепившийся к электроду, и есть корона.



Около острия электрические силовые линии сгущены, поле здесь сильнее действует на заряженные частицы. Благодаря этому электроны оказываются в состоянии ионизировать газ и образовывать лавины зарядов. Вне коронирующего слоя ионизации газа нет.

Как же там образуется ток? Кто выполняет роль переносчиков зарядов?

Делают это ионы, либо положительные, либо отрицательные, в зависимости от того, какой электрод коронирует. Коронный разряд, полученный по схеме, изображенной на рисунке, возникает у катода, так как именно катод заострен. В непосредственной близости от острия в светящемся слое плазмы происходит ионизация молекул и атомов газа. Положительные ионы притягиваются к острию, а электроны устремляются за пределы плазмы к шару-аноду. Они «прилипают» к нейтральным молекулам и образуют отрицательные ионы. Эти ионы и являются переносчиками зарядов в сторону анода.

Если оба электрода заострены, то в разрядном промежутке образуется встречное движение ионов того и другого знака.

Коронный разряд потребляет ток небольшой величины. Если увеличивать напряжение, питающее коронный разряд, то между

электродами начнут прыгать искры. Коронный разряд переходит в искровой или даже в дуговой.

Однако может быть и так: если электроды размещены близко друг от друга или если они не заострены, то никакими ухищрениями коронный разряд получить не удастся. При достаточно большом напряжении сразу начнется искровой разряд. Или дуговой, если источник тока обладает необходимой мощностью.

Знание законов возникновения и существования коронного разряда позволило создать аппараты и приборы, которые стали выполнять работу, недоступную другим видам электрических разрядов.

Плазма в переменном поле

До сих пор мы говорили о разрядах, питаемых током постоянным. Электроды при этих разрядах имеют вполне определенное назначение. Один из них — катод — служит «пристанью» для положительных зарядов, а второй — анод — для отрицательных. Существующее между ними электрическое поле действует на заряды в одном определенном направлении и с вполне определенной силой. «Узор» силовых линий в нем почти неизменен.

Ученые задались вопросом: что будет, если разрядную трубку питать не постоянным, а переменным током? Будет ли в этом случае возникать плазма, а если и будет, то чем она отличается от плазмы, полученной при постоянном токе?

Сейчас на все эти вопросы наукой получены ответы, хотя в целом высокочастотные разряды пока исследованы меньше, чем разряды на постоянном токе.

Когда трубка подключена к источнику переменного тока, электроды непрерывно меняются своими ролями. Если в данный момент один электрод, например, левый, является катодом, а второй, правый, — анодом, то тотчас с переменой направления тока на обратное левый электрод станет анодом, а правый — катодом. Такая смена «ролей» происходит с той частотой, с какой изменяется направление тока в цепи.

От частоты и зависит поведение плазмы в разряде.

Если трубка питается током низкой частоты, не превышающей, скажем, 500 герц, то разряд почти ничем не отличается от разряда на постоянном токе. Заряды при каждой

вспышке разряда успевают перестроиться и на короткое время найти «положенные» места. Правда, наблюдая за разрядом, мы не увидим ни катодных, ни анодных его частей, потому что наш глаз воспринимает свечение как прямого, так и обратного разряда. А специальные приборы — стробоскопы — позволяют рассматривать разряд в течение каждого полупериода изменения тока.

Но картина резко меняется, если частота питающего тока достигает сотен тысяч и миллионов герц. Обычно этот ток вырабатывают специальные ламповые генераторы, или, иными словами, генераторы радиоволн.

Ток в разрядном промежутке настолько быстро изменяется по величине и направлению, что заряженные частицы, особенно ионы, не успевают занимать положенные места и лишь совершают колебания под действием быстропеременных электрических сил.

Такой высокочастотный разряд имеет свои особенности, свой «рельеф».

В тлеющем высокочастотном разряде, например, положительный столб занимает середину трубки. С обеих его сторон располагается по одному темному фарадееву пространству, а около каждого электрода можно увидеть катодные части разряда. Создается впечатление, что из двух обычных разрядов на постоянном токе получили один высокочастотный.

В тлеющем разряде на постоянном токе большую роль играли электроны, выбитые из катода. Здесь этого нет. Катод почти не участвует в ионизации, а образование ионов происходит за счет электронов, имеющихся в самой плазме.

С помощью специальной аппаратуры удалось получить такие же высокочастотные разряды, которые есть на счету у постоянного тока. Если взять обыкновенный алюминиевый или медный диск и под ним установить конический электрод — острие, то на этом острие при подведении высокочастотной энергии можно получить и искровой, и коронный, и дуговой разряды. Тип разряда будет зависеть от мощности источника тока, формы и расстояния между электродами и от частоты электромагнитных колебаний, вырабатываемых генератором.

Но радиоволны позволяют получить разряды, которые не доступны постоянному току. Поместив внутрь катушки индуктивности разрядную трубку с разреженным газом, можно заставить этот газ превратиться в плазму в виде кольца. Сделает это высокочастотное электромагнитное поле, пульсирующее вокруг витков катушки.

Это так называемый безэлектродный кольцевой разряд.

Если к острию-электроду подвести электромагнитные колебания очень высокой частоты, то на конце острия появится столбик плазмы в виде пламени свечи или факела. Этот разряд назван факельным. Стоит уменьшить частоту питающего тока, факельный разряд превратится в коронный, представляющий собой «букет» плазмы с многочисленными трепещущими языками.

Плазма высокочастотных разрядов живет по иным законам, чем плазма, полученная пропусканием постоянного тока, а на молекулы газа она действует иначе. Это заставляет ученых усиленно изучать высокочастотные разряды, чтобы получить их новые применения.

Как ученые покоряют плазму

Вы уже немало узнали о строении плазмы, о поведении невидимых заряженных частиц, из которых она состоит. Когда вы читали об искре, дуге, тлеющем, коронном и других разрядах, у вас, наверно, возникал вопрос, а как ученые разгадали, открыли все тонкости взаимодействия миллиардов ионов и электронов, находящихся в каждом кубическом сантиметре плазмы? Как удалось им заглянуть в невидимое?

Вопрос этот интересный, и я остановлюсь на нем, правда, мне будет нелегко на нескольких страницах рассказать хотя бы об основных видах «оружия», которым осуществляется штурм плазмы.

Но вначале о том, как получить плазму.

— Очень просто! — скажете вы. — Откачать из трубки побольше воздуха, включить высокое напряжение — и плазма готова.

Но ученые так поступают редко. Действительно, разряд, полученный в остатках воздуха, — вещь неопределенная. В каком газе он получен? В азоте? В кислороде? В углекислом газе, который тоже есть в воздухе? Такая неопределенность ученых не устраивает. Ведь от состава газа, служащего «материалом» для плазмы, зависят ее поведение и свойства.

Поэтому чаще приходится вначале откачивать из трубки весь воздух, а потом впускать вместо него тот газ, плазма которого подвергается исследованию.

Обычно для этой цели используются инертные газы: гелий, неон, аргон, криптон и ксенон. Но часто плазму получают в парах

ртути, натрия и других металлов. Без удаления воздуха из трубки в этом случае никак не обойтись.

В том опыте, которым мы проверяли закон Ома для плазмы, разрежение в трубке осуществлялось механическим насосом.

Вы знаете, что давление воздуха у поверхности земли составляет 760 миллиметров ртутного столба. Механический насос, поработав изрядное время, уменьшает давление внутри разрядной трубки до тысячной доли миллиметра. В три четверти миллиона раз!

Но ученых это не устраивает. После механического насоса они заставляют работать еще один насос — ртутный. В этом насосе нет вращающихся частей. В нем горелка, или спираль, подогревает сосуд с ртутью, и пары ртути врываются в специальную камеру, сообщающуюся с разрядной трубкой. Молекулы воздуха, оставшиеся в трубке после работы механического насоса, выходят в эту камеру и прилипают к капелькам ртути, увлекаются ими.

Ртутный насос понижает давление в разрядной трубке еще в тысячу раз. Таким образом достигается давление в одну миллионную долю миллиметра!

Но давление в миллионную долю миллиметра — это не пустота. В каждом кубическом сантиметре объема разрядной трубки еще имеются миллиарды молекул воздуха. Ученые применяют новые хитрости, чтобы выманить эти молекулы из трубки. Они помещают трубку в магнитное поле, превращают остатки газа в ионы и извлекают их из трубки мощным электрическим полем.

Приходится бороться еще с одним врагом — газом, выделяющимся из стекла и из электродов трубки. Оказывается, все твердые тела в обычном состоянии пропитаны воздухом и этот воздух может выходить в безвоздушное пространство разрядной трубки и портить все дело.

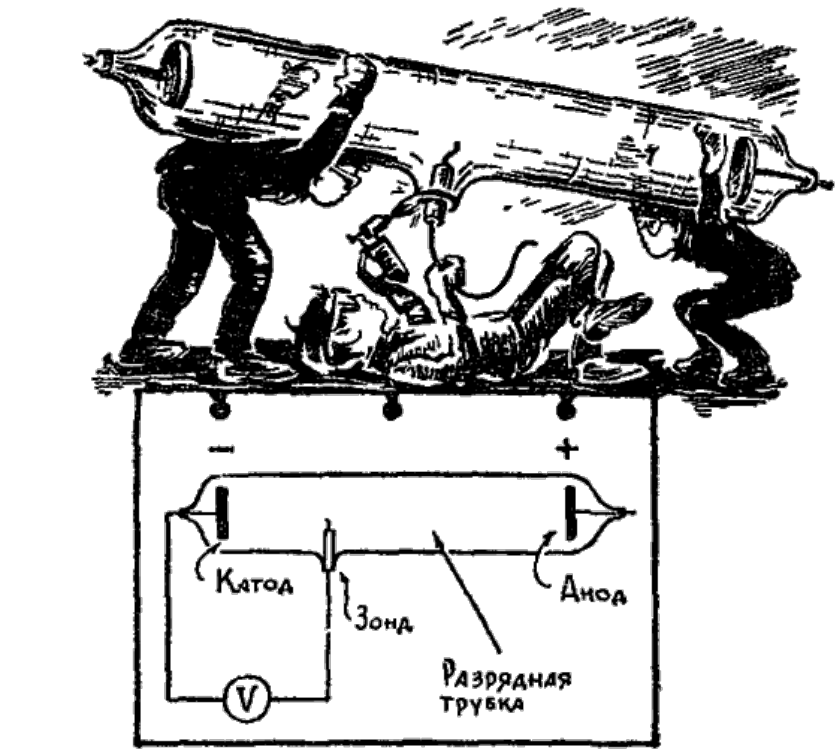
Поэтому, чтобы не допустить такого «испарения» воздуха, разрядную трубку при откачке прогревают вначале в электрической печи, а потом в электромагнитном поле высокой частоты.

Видите, сколько хлопот доставляет, казалось бы, простая операция — удаление газа из трубки!

Когда в разрядной трубке воздуха не останется почти совсем, ее наполняют тем газом, разряд в котором интересует ученого. В лаборатории имеются небольшие баллоны с различными газами, полученными с химических заводов. Завод отвечает за то, чтобы в неоне или аргоне не было других газов — примесей. Но иногда все же в лаборатории приходится делать «доочистку» газов.

Но вот трубка заполнена нужным газом до необходимого давления, подключен источник высокого напряжения, газ в трубке превратился в плазму. Теперь слово за приборами. Они тесной толпой окружают маленькую разрядную трубку и на языке, понятном исследователю, докладывают о поведении заряженных частиц, из которых состоит плазма. Одни из них сообщают о плотности, или давлении газа внутри трубки, другие — об изменении напряжения между электродами и величине тока через трубку, третьи — о поведении электродов во время разряда.

Ученые засылают внутрь плазмы своих разведчиков. Их называют зондами.



На рисунке вы видите, что между катодом и анодом располагается небольшой «столбик».

Стеклодув, который изготовляет разрядную трубку, делает и этот зонд. Он покрывает стеклом тоненькую проволочку, оставляя голым только самый конец. Потом эту проволоку пропускают через корпус трубки, запаивают — и зонд готов.

Когда в трубке вспыхнет разряд, кончик зонда принимает заряд, равный заряду той точки разряда, где этот зонд находится. Специальный вольтметр, включенный между зондом и одним из электродов трубки, например катодом, покажет величину этого заряда. Помещая зонды в разные точки разряда, ученые легко узнают, как распределяются в трубке заряды. Перепад

напряжения вблизи катода при тлеющем разряде удалось обнаружить именно таким способом.

Я рассказал о самом простом зонде. Имеются зонды посложнее — в виде цилиндриков, шариков, плоских пластинок. Есть холодные и раскаленные зонды, неподвижные и перемещающиеся. Методом зондирования разряда удалось подсчитать количество электронов в разных точках разряда, процент молекул газа, превратившихся в ионы, а также энергию теплового движения электронов.

Помните, что температура тлеющего разряда чуть-чуть выше температуры нашего тела? Но это температура плазмы в целом. С помощью зондов удалось выявить, что электроны в этой чуть теплой плазме имеют энергию, соответствующую температуре в несколько тысяч градусов.

Зондовый метод не единственный. Не менее надежным является другой — оптический.

Свет — обязательный спутник плазмы. Излучает его она не беспорядочно, не как попало, а по строгим физическим законам. Десятки приборов ловят световые лучи плазмы и помогают ответить на вопросы, которые прежде ставили ученых в тупик.

Попробуйте, например, определить температуру внутри огненного шнура дуги. Ни один термометр не выдержит «жары» в тысячи градусов — он расплавится. Но ученые и не думают помещать туда термометры. Они узнают температуру газа по силе и по характеру его свечения.

Оптические приборы дают возможность, не влезая в плазму, узнать, какой процент молекул газа излучает свет, определить, с какой скоростью они движутся.

Приборы чутко реагируют на рождение новых веществ в разряде и позволяют безошибочно определить, какие примеси имеются в газе.

Подробнее о роли видимых и невидимых лучей, испускаемых плазмой, мы еще поговорим.

Большую трудность представляет изучение разрядов, которые протекают очень быстро. К таким относятся искровой разряд и все высокочастотные разряды.

При их изучении ученые часто пускают в дело осциллографы — электронные приборы, во многом похожие на телевизоры. У осциллографа тоже есть экран, на котором появляется изображение, только не людей, а зеленых светящихся линий. Эти «живые» линии-змеи говорят о многом: о том, как изменяются напряжение и ток в трубке, какие импульсы тока возникают при разряде, как начинается и как заканчивается разряд.

При изучении искровых разрядов, например, молний,

большую помощь оказывает фотографирование разряда. Но для этого применяются не обычные фотоаппараты, а сверхскоростные фотокамеры. Сейчас созданы и используются камеры, которые делают в секунду сотни тысяч и миллионы снимков. На Брюссельской выставке, например, СССР демонстрировал фотокамеру, делающую тридцать три миллиона снимков в секунду!

Несмотря на свою сложность, такие приборы незаменимы при изучении разрядов. Они позволяют увидеть всю мгновенную жизнь искры или другого разряда, начиная с момента рождения и кончая исчезновением плазмы.

Но плазму «штурмуют» не только в лабораториях. Ею занимаются и ученые-теоретики, вооруженные знаниями математики и физики.

Нагромождая этажи сложных формул, эти ученые пишут математическую летопись плазмы. Они предсказывают то, что потом должен подтвердить опыт.

Ученые-теоретики и ученые-экспериментаторы сообща раскрывают законы электродинамики — науки о движущихся электрических зарядах. В этом содружестве — залог окончательного покорения плазмы.

Глава IV
Подвиги ученых и плазма

Плазма помогла Фарадею

Случилось это много лет назад, в начале прошлого века. Уже была открыта электрическая дуга Василия Петрова, уже ученые умели получать некоторые электрические разряды и были сделаны первые шаги в их изучении. Однако никто не знал еще, какие процессы происходят внутри светящегося газа, какие законы заставляют его так резко менять свои свойства, когда к электродам подводят высокое напряжение и газ начинает светиться.

Не было и слова «плазма» для обозначения четвертого состояния вещества.

И несмотря на все это, плазма уже тогда начала приносить пользу.

Здесь я расскажу о том, как маленькая искорка помогла английскому ученому Майклу Фарадею открыть важный закон физики.

Сын кузнеца, Майкл Фарадей с двенадцати лет начал зарабатывать себе на хлеб в переплетной мастерской. Здесь он все свободное время отдает чтению книг, которые приходилось переплетать. Фарадей посещает общедоступные лекции по физике и химии и наконец пишет письмо знаменитому химику сэру Гемпфри Дэви. К письму он прикладывает записанный и переплетенный конспект лекций.

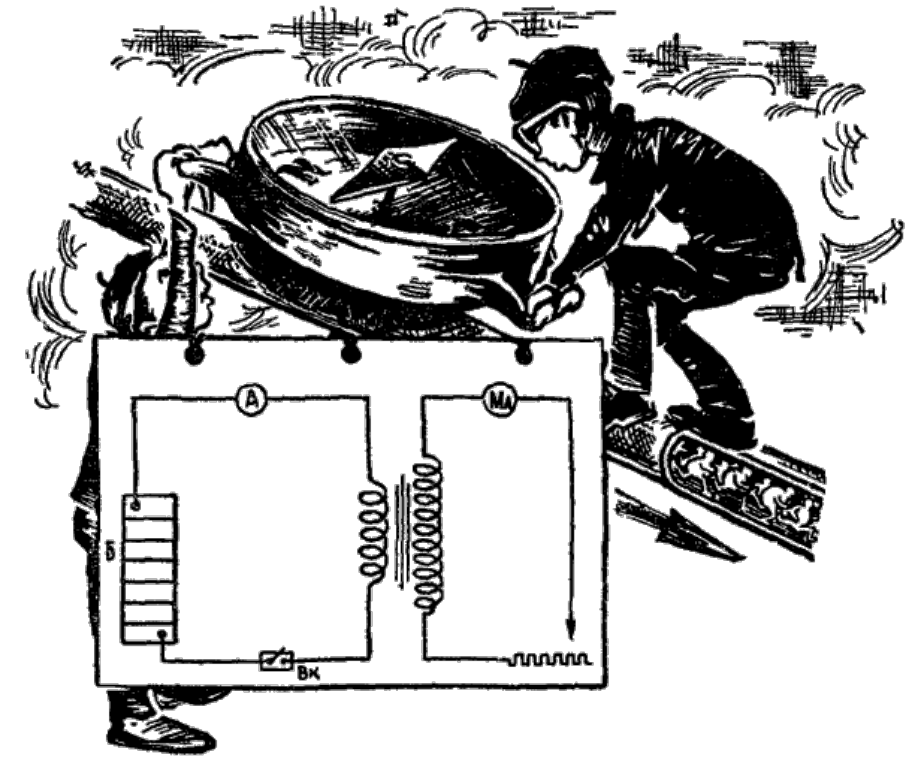
Это произвело впечатление на маститого ученого, и Майкл Фарадей становится его помощником. Попав в научную лабораторию, Фарадей, кроме подметания полов и мытья посуды, участвует в опытах ученого, а вскоре начинает проводить их самостоятельно.

Блестящие способности Майкла Фарадея, упорство в достижении намеченной цели, ясность научного мышления позволили Фарадею, не получившему специального образования, стать крупным ученым своего времени. Мировую славу Фарадею принесли его опыты по изучению электрических и магнитных явлений.

В 1822 году Фарадей поставил смелую задачу, которую он сформулировал так: «Превратить в магнетизм электричество».

Эту задачу ученый блестяще решает, поставив свой знаменитый опыт.

Повторим опыт Фарадея. Возьмем связку пластин от старого трансформатора и намотаем на этот пакет несколько десятков витков провода в изоляции. Закрепив концы этой первичной обмотки, намотаем поверх нее еще одну обмотку, но витков положим в десять раз больше. Теперь соберем схему, изображенную на рисунке (стр. 50).



В цепь аккумуляторной батареи входит амперметр, первичная обмотка и рубильник.

Последовательно с большой, вторичной обмоткой присоединен миллиамперметр с реостатом, служащим для предохранения прибора от перегрузки.

Здесь все, как в опыте Фарадея, если не считать того, что мы применили современный источник тока и приборы и намотали обмотки не на железном кольце, как Фарадей, а на пакете трансформаторных пластин.

Фарадей, ставя этот опыт, хотел доказать единство электрических и магнитных сил. Сотни раз переделывал он схему, но ничего не получалось.

Он видел, что в момент включения рубильника между его контактами проскакивала маленькая, еле заметная искорка. Стрелка амперметра отклонялась от нулевого положения,

показывая потребление тока первичной обмотки. Стрелка же второго прибора была неподвижна, как бы пристально ни смотрел на нее ученый.

И вот однажды, замыкая рубильник, Фарадей случайно взглянул на миллиамперметр. В момент замыкания стрелка его чуть-чуть отклонялась вправо и затем снова возвращалась на нуль. То же самое происходило и при размыкании рубильника.

Это было замечательное открытие. Существование электромагнитной индукции было доказано.

Сейчас каждый, кто окончил восемь классов, знает, в чем состоит суть открытого Фарадеем явления. Поэтому я расскажу о нем коротко.

Еще до Фарадея датский ученый Эрстед установил, что как только в проводнике возникает ток, вокруг проводника образуются магнитные силы, появляется магнитное поле. В этом легко убедиться: поднесите к проводу с током магнитную стрелку; она тотчас займет положение, перпендикулярное проводнику, — вдоль магнитных силовых линий.

Но никто тогда не знал и не мог доказать, что магнитное поле может рождать ток; иными словами, наука ничего не знала о единстве электрических и магнитных явлений.

Если бы не искорка, проскакивающая в рубильнике, то и Фарадей вряд ли смог бы доказать это.

Дело в том, что в то время ученые имели в своем распоряжении только постоянный ток. Источники переменного тока изобретены еще не были, а для того чтобы во вторичной обмотке возникал ток, в первичной должен быть ток не постоянный по величине, а переменный.

Искорка в рубильнике помогла выйти из затруднения.

При замыкании рубильника ток в цепи первичной обмотки достигал максимума в течение какого-то небольшого отрезка времени. Магнитные силовые линии появлялись вокруг витков первичной обмотки тоже постепенно.

Они расходились в стороны подобно тому, как расходятся круги на воде, когда в нее бросают камень. Пересекая витки вторичной обмотки, эти магнитные силовые линии заставляли свободные электроны двигаться в одну сторону, иными словами, во вторичной цепи возникал ток. Когда же ток в первичной обмотке достигал предела, становясь обычным постоянным током, магнитное поле «замирало», движения магнитных силовых линий не было, и ток во вторичной цепи прекращался.

При размыкании рубильника эффект был тот же, только теперь ток возникал от пересечения «сжимающимися» магнитными линиями.

Если бы Фарадей вместо рубильника поставил, скажем, реостат и, выводя его — уменьшая сопротивление, получал бы в первичной обмотке тот же самый ток, явления электромагнитной индукции он бы не заметил. Маленькая искорка в рубильнике «включала» ток быстро, толчком, и это позволило на миг создавать меняющееся магнитное поле — необходимое условие для проявления электромагнитной индукции.

Так небольшой кусочек плазмы — искра в рубильнике — позволил сделать Майклу Фарадею открытие мирового значения.

Фарадей немало сделал для изучения самих электрических разрядов в газе. Много времени и сил уделил он изучению искрового разряда. Он обнаружил, например, что первая искра проскакивает между электродами при более высоком напряжении, чем вторая, третья, четвертая…

Во времена Фарадея трудно было объяснить этот факт. Сейчас сделать это легко: первая искра сильно ионизирует газ в разрядном промежутке. После нее заряды еще продолжают «жить» нередко в течение нескольких минут; они-то и облегчают следующий искровой пробой.

Чутье Фарадея-ученого подсказывало ему, что электрическим разрядам в газах принадлежит замечательное будущее. Он так и писал: «…Результаты, связанные с различными явлениями положительного и отрицательного разряда, повлияют на теорию электричества сильнее, чем мы теперь думаем…»

Максвелл предсказал — Герц обнаружил

А теперь вернемся с английских островов снова на континент.

Мы в лаборатории немецкого физика Генриха Герца. 1888 год. Герц, не зная усталости, настойчиво изучает электромагнитные явления. Ученый поставил перед собой трудную задачу: на опыте подтвердить положения «Трактата об электричестве и магнетизме», изданного пятнадцатью годами раньше английским физиком Максвеллом.

Джемс Максвелл был необыкновенным ученым. Он не работал в лаборатории, не строил «громовых машин», гальванических батарей, не придумывал опытов, чтобы выманить у природы новые тайны.

Максвелл был ученым-теоретиком. Бумага и перо и, конечно, необыкновенная одаренность и знания — вот его оружие.

Едва Джемсу исполнилось пятнадцать лет, он уже выполнил первую научную работу, «О черчении овалов и об овалах со многими фокусами» — так называлась эта работа. В восемнадцать лет Максвелл был уже вполне сложившимся ученым. Его блестящие выводы, облеченные в безукоризненно четкую математическую форму, поражали всех. Он доказывает, разумеется, по-прежнему с пером и бумагой, что кольца планеты Сатурн, наблюдаемые в телескопы, не сплошные твердые или жидкие массы, а рой метеоритов-спутников.

Но больше всего прославили Максвелла его работы по электричеству. Опираясь на фундамент опытов Фарадея, Томсона и других ученых, он доказал, что любой проводник с переменным током обязательно должен излучать в пространство электромагнитные волны. Эти волны, говорил Максвелл, распространяются с колоссальной скоростью в триста тысяч километров в секунду и представляют собой совокупность электрических и магнитных сил, точнее полей, взаимозависимых и взаимообусловленных. Ученый смело заявлял, что свет также имеет электромагнитную природу.

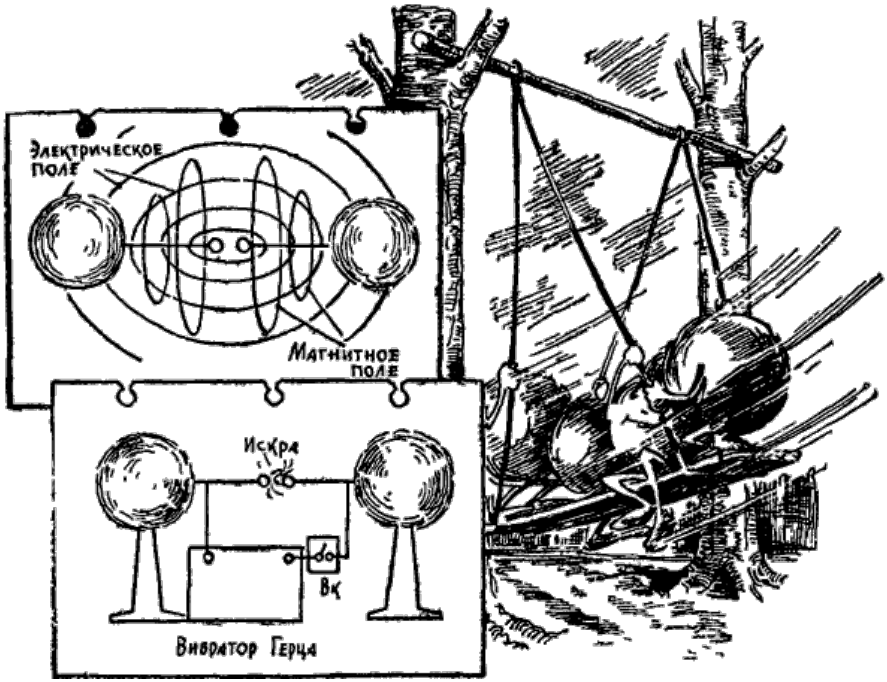
Если для света есть прозрачные и непрозрачные тела, говорил Максвелл, то и электромагнитные волны через одни тела — дерево, кирпич, фарфор — проходят беспрепятственно, а другими телами, например металлами, отражаются и поглощаются. Максвелл утверждал, что электромагнитные волны обладают энергией.

Свои смелые выводы ученый преподнес в виде стройной системы математических уравнений. Сейчас ими пользуется почти всякий физик; современники же Максвелла встретили его теорию с большим недоверием.

Но Генрих Герц верит Максвеллу и ставит перед собой задачу доказать теорию Максвелла на практике.

После долгих и настойчивых поисков был создан знаменитый вибратор Герца — генератор, излучающий в пространство радиоволны.

По своему устройству прибор этот несложен. Два металлических шара соединены проволокой. В середине проволока разорвана, и в месте разрыва на концы отрезков проволоки насажены два, тоже металлических, шарика. К шарикам через выключатель присоединена электрическая батарея высокого напряжения.



Как в опыте Фарадея «присутствовала» искра, так и в вибраторе Герца без нее обойтись было нельзя. Но если у Фарадея искра была только «свидетельницей», а «стержнем» опыта являлось пересечение магнитными линиями витков вторичной обмотки, то у Герца в искре была заключена вся суть получения, или генерирования, радиоволн.

В чем же заключалась эта основа опыта?

Замкнем рубильник. Между маленькими шариками проскочит искра, потом вторая, третья. Система больших шаров не останется безучастной к этим искрам, она тотчас отзовется на них.

Под воздействием электрического «удара» возникшей искры свободные электроны шаров и соединяющей их проволоки начнут колебаться подобно тому, как колеблется камертон, издавая определенный звук, если по нему ударить молоточком. Только частота колебаний электронов в тысячи раз больше частоты звучания камертона.

Посмотрите на качели. Взлетая вверх и стремительно падая вниз, качели все время имеют меняющуюся скорость движения. Так и электроны в вибраторе Герца. Их общие согласованные колебания, представляющие собой, в сущности, переменный ток, тоже есть не что иное, как «качели», только электронные.

Еще из рассмотренного нами опыта Фарадея мы уяснили, что изменяющийся по величине ток вызывает отпочкование магнитных силовых линий. В вибраторе Герца картина

значительно сложнее: здесь «отпочковываются», бегут в пространство не только магнитные, но и электрические силовые линии, они взаимно перпендикулярны и составляют одно целое.

Посмотрите еще раз на вибратор Герца. Если мы силой своего воображения остановим на мгновение бег электромагнитных волн и «проявим» их, сделаем видимыми, то окажется, что магнитные линии «нанизаны» на провод, соединяющий шары, и расположены они перпендикулярно плоскости чертежа, а электрические охватывают большие шары, располагаясь перпендикулярно магнитным линиям, то есть в плоскости чертежа.

Итак, вибратор Герца — это электронный маятник. Обращали вы внимание на стенные часы? Если часы имеют длинный маятник, то колебания его более редкие, чем у часов с коротким маятником. В вибраторе Герца частота колебаний электронов тоже зависит от расстояния между большими шарами: чем больше это расстояние, тем меньше колебаний в каждую секунду успевают совершить электроны. А от этого зависит длина волны — тот путь, который проходит волна за один цикл, за один период колебаний электронов.

Генрих Герц, создавший свой вибратор более семидесяти лет назад, получал радиоволны длиной от шестидесяти сантиметров до десяти метров. Это ультракороткие радиоволны.

Могут спросить: «А как Герц обнаружил электромагнитные волны, излучаемые вибратором? Увидеть их нельзя, а радиоприемник в то время еще изобретен не был!»

Герц нашел выход. Он установил недалеко от вибратора другое несложное устройство — резонатор. Это металлический разорванный обруч с разрядными электродами. Когда обруч пересекали электромагнитные волны, в нем возникало движение электронов и между электродами проскакивала слабенькая, еле заметная искорка. Нет радиоволн — резонатор не искрит, не отзывается, появились радиоволны — резонатор тотчас отметит это.

Хотя Герцу удалось обнаружить электромагнитные волны на расстоянии не более трех метров, теория Максвелла в этих опытах нашла блестящее подтверждение.

Значение искры — этого кусочка плазмы — трудно переоценить. В опытах Герца она служила и для возбуждения радиоволн, и для их обнаружения! Не обладай газ способностью превращаться в плазму, кто знает, сколько времени потребовалось бы науке для открытия радиоволн!

Но открытие Герца — это еще не изобретение радио. В его аппарате не хватает таких существенных элементов, без которых радиосвязь немыслима.

Да и сам Герц утверждал, что его опыт лишь подтверждение теории Максвелла. Для практических целей, заявлял ученый, электромагнитные волны использовать нельзя. Они принадлежат, так сказать, чистой науке.

Но Генрих Герц заблуждался.

В другой стране, в России, вскоре после открытия Герца радиоволны были поставлены на службу человеку.

Изобретатель радио Попов

Имя Александра Степановича Попова — замечательного русского ученого и изобретателя знает весь мир. Человечество благодарно ему за то, что он изобрел радио — незаменимое средство для передачи на далекие расстояния радиосигналов и человеческой речи, музыки и изображений.

Вам, наверное, известна биография этого ученого. Родился он в поселке Турьинские Рудники на Северном Урале (сейчас это город Краснотурьинск). Несмотря на то что отец-священник хотел сделать его духовным лицом, Попов по окончании общеобразовательных классов Пермской семинарии уехал в Петербург и поступил на физико-математический факультет университета. Профессора университета сразу обратили внимание на блестящие способности молодого студента и нередко позволяли ему исполнять обязанности ассистента на своих лекциях.

Окончив Петербургский университет, А. С. Попов становится преподавателем физики в Кронштадтском минном офицерском классе и в минной школе. Здесь был один из лучших в Европе физический кабинет. Все новое, чего достигла в то время физика, демонстрировалось там с помощью всевозможных приборов.

Попов имел блестящую теоретическую подготовку и вместе с тем был непревзойденным экспериментатором. Своими руками он сделал десятки физических приборов, продуманных до мельчайших деталей.

Уже на следующий год после опытов Герца он демонстрировал их у себя в Кронштадте. Но, в отличие от Герца, Попов во всяком физическом явлении старался найти какое-либо практическое приложение. Демонстрируя электромагнитные волны, он высказал пророческою мысль, что их можно использовать для беспроволочной связи.

Шесть лет шел ученый к намеченной цели. Наконец 7 мая

1895 года русский ученый отдал на службу людям свое детище — радио. В этот день он выступил перед крупнейшими учеными Петербурга с докладом, в котором сообщил о созданном им первом в мире радиоприемнике.

День 7 мая 1895 года стал днем рождения радио и сейчас отмечается как праздник не только у нас, но и за рубежом.

Первым «корреспондентом» Александра Степановича была плазма. Да, плазма, создаваемая природой во время гроз и названная людьми молнией.

Мы уже знаем, что искровой разряд рождает электромагнитные волны, а так как к моменту изобретения радио мощных генераторов радиоволн не было, Попов использовал природный «генератор» — грозовые разряды. Поэтому и свой прибор он назвал грозоотметчиком.

Я не буду подробно останавливаться на схеме радиоприемника Попова, она проста и многим известна. Приемник состоял всего из четырех «узлов»: электрического звонка, реле, антенны и когерера. Три первых предмета хорошо известны каждому из нас. Нужно только заметить, что изобретение антенны принадлежит Попову и в этом одна из главных его заслуг, без антенны невозможно ни передавать, ни принимать радиосигналы.

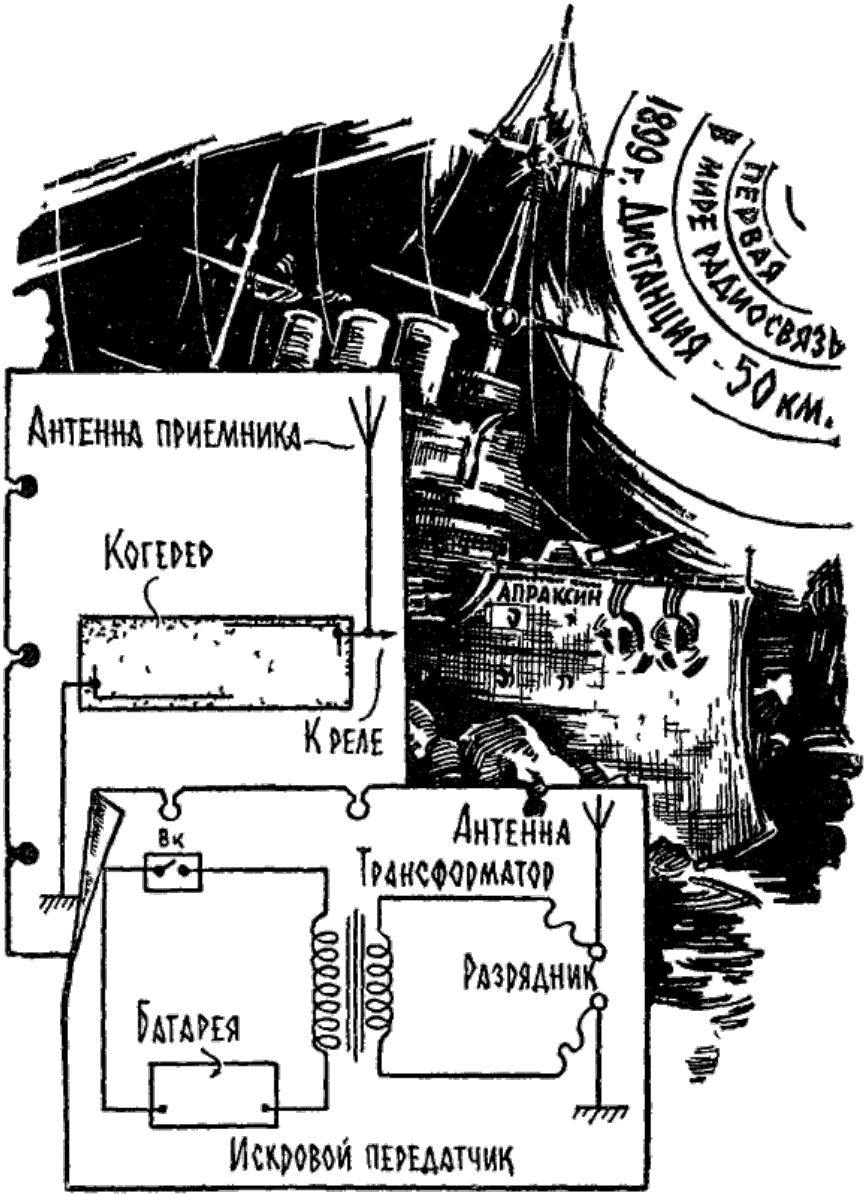
Незнакомым для вас устройством является лишь когерер. Что это такое?

Если насыпать в стеклянную трубочку мелких железных опилок, вывести с двух сторон провода, — получим когерер. Попов присоединил к когереру длинный провод — антенну. Грозовой разряд возбуждал в антенне переменные токи, между крупинками железа в когерере проскакивали микроскопические искорки (снова плазма) и спекали их. В результате сопротивление столбика железных опилок резко падало и реле включало звонок. Трель звонка предупреждала о приближении грозы, «отмечала грозу».

По тем временам грозоотметчик Попова был совершенным прибором. В течение многих лет он добросовестно работал на метеорологической обсерватории Лесного института.

Александр Степанович Попов был дальнозорким ученым. Изобретение грозоотметчика для него являлось лишь ступенью в достижении главной цели — создании аппарата для обмена телеграфными сигналами с помощью радиоволн.

Понимая, что для его приемника безразлично, какие принимать радиоволны — рожденные ли молнией или полученные искусственно, — Попов решил в радиопередатчике применить электрическую искру.



Посмотрите на схему искрового передатчика, сконструированного ученым в 1895 году. Если вы не забыли об опыте Фарадея, то легко поймете, как работает этот радиопередатчик.

При нажатии ключа «К» во вторичной обмотке возникает напряжение. Эта вторичная обмотка имеет очень много витков по сравнению с первичной, поэтому и напряжение, возникшее на ней, будет очень высоким. Между шарами разрядника проскакивает искра. А так как к одному из шаров подключена антенна, она немедленно пошлет «порцию» радиоволн.

Благодаря антенне «дальнобойность» генератора радиоволн увеличивается в сотни и тысячи раз. Герц, как мы знаем, не мог обнаружить радиоволны дальше трех метров от своего вибратора; Попов же первую в мире радиосвязь — это было 24 марта 1896 года — установил на расстоянии 250 метров. В том же году им был преодолен пятикилометровый рубеж, а в 1899 году радиоволны успешно «освоили» дистанцию лыжного марафона — пятьдесят километров. Кстати, эта дистанция была первой в мире практической линией радиосвязи. Она была установлена между островом Гогланд и Коткой в Балтийском море. Там благодаря помощи радио был спасен броненосец «Генерал-адмирал Апраксин», севший у острова Гогланд на камни.

Попов был энтузиастом своего дела. Работа, проделанная им, огромна. Он разработал радиотелеграфную аппаратуру для морского флота, создал первые полевые радиостанции для пехотных частей, предложил использовать радиоволны для целей радиолокации и передачи «живой» человеческой речи.

И во всех радиоустройствах Попова неутомимо работала искра — плазма, приручeнная ученым. Она работала еще долго и после смерти ученого, пока не была заменена радиолампoвой аппаратурой.

Но, может быть, теперь значение плазмы в радиосвязи сошло на нет?

Ничего подобного! Плазма по-прежнему помогает людям вести разговор по радио.

Знаете, как осуществляется радиосвязь на коротких волнах, например, между Москвой и Владивостоком?

Вдоль Земли короткие волны распространяются недалеко, и это люди знают. Поэтому для связи используется так называемый отраженный луч.

Радиоволны, вырвавшись из антенны, под углом устремляются в небо, но очень далеко не уходят. На своем пути они встречают ионосферу, которая есть не что иное, как плазма. Ионосфера, как зеркало, отражает волны, посылает их снова на Землю. Радиоволны снова встречаются с Землей уже на расстоянии тысяч километров от того места, где стоит передатчик. Антенна приемника «ловит» отраженный радиолуч, который несет с собой сигналы азбуки Морзе, музыку, человеческую речь.

Недавно использован для радиосвязи еще один вид плазмы.

Видели вы, как ночью «падают» звезды? Теперь всякий знает, что это не звезды, а метеоры — твердые космические тела, врывающиеся в атмосферу Земли. Ежедневно тысячи таких метеоров «бомбят» атмосферу и сгорают в ней. Сгоревший метеор

— это облачко плазмы.

Радиопередатчики небольшой мощности, спаренные с приемниками, нацеливаются на определенный участок неба и, когда там появляется и сгорает метеор, производят быстрый радиообмен. Исчезнет одно облачко плазмы — ждут, когда появится новое. Аппаратура работает автоматически, без вмешательства человека.

Эти примеры говорят о том, что эстафету использования плазмы для нужд радио, которую первым поднял Александр Степанович Попов, современная наука успешно продолжает нести.

Открытие ученого-чудака

Когда я рылся в каталогах Библиотеки имени В. И. Ленина, безуспешно пытаясь найти хотя бы одну научно-популярную книгу о применениях плазмы, я обратил внимание на карточку: «М. Бронштейн „Солнечное вещество“».

«Наконец-то, — обрадовался я, — наверняка эта книжка о плазме, ведь солнечное вещество — не что иное, как плазма».

И вот книга у меня в руках, я прочел ее одним дыханием… хотя она была совсем не о плазме. Так интересно, так талантливо написал ее физик Матвей Петрович Бронштейн.

Автор дал правильное название книге. В ней рассказал он всю историю открытия гелия, а ведь в раскаленной массе Солнца гелия содержатся многие миллиарды миллиардов тонн. Кроме того, гелий впервые был обнаружен на Солнце, а потом уже открыт на Земле. Отсюда и название нового элемента. «Гелиос» по-гречески и значит — солнце.

Но о книге Бронштейна я заговорил по другой причине.

В ней есть рассказ об одном английском ученом, который впервые заставил плазму исполнять обязанности химика.

Кто был этот ученый, вы узнаете из небольшого отрывка из книги, который я приведу здесь.

«В конце восемнадцатого века жил в Лондоне ученый-химик, которого звали Генри Кавендиш. Это был нелюдимый и одинокий человек. Он появлялся на улицах с узловатой палкой, в длинном дедовском сюртуке и в широкополой шляпе. О его странностях и причудах по городу ходило множество слухов и басен. Передавали, будто нелюдимость его и суровость доходят до того, что иной раз за целый день он не произносит ни одного слова.

Говорили еще, что он очень богат и все свое огромное состояние тратит на всякие опыты и на покупку научных машин и приборов. Об опытах своих и открытиях он никому не рассказывает: опытами и открытиями он занят для собственного удовольствия и мнение других людей его нисколько не интересует…»

Странный ученый, не правда ли?

О научных трудах Кавендиша мы, пожалуй, и не узнали бы, если бы не Джемс Максвелл, который однажды опубликовал найденные им рукописи Кавендиша.

Генри Кавендиш первый из ученых вычислил, сколько весит земной шар, первый открыл, что вода состоит из водорода и кислорода, первый заставил электрическую искру потрудиться для химии.

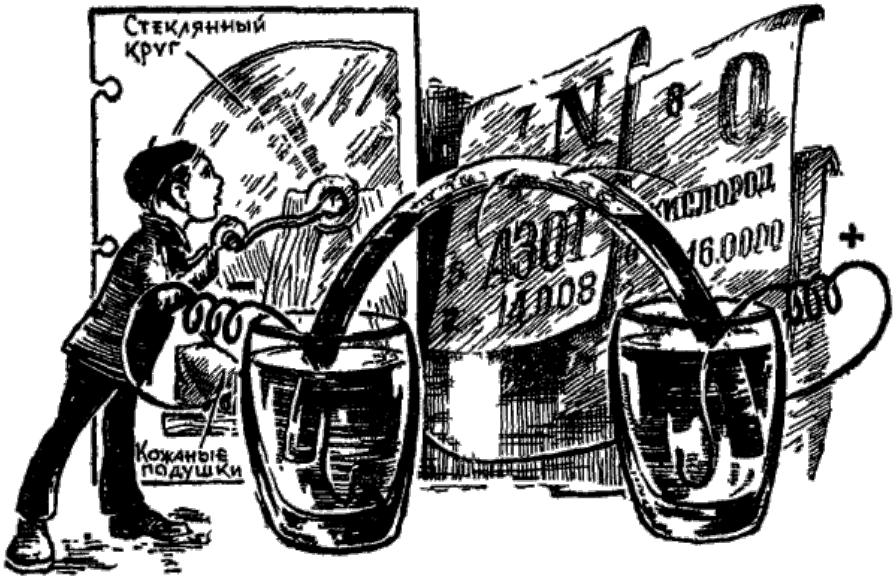
Последнее непосредственно относится к нашему рассказу, остановимся на этом подробнее.

Что сделал Кавендиш?

Ученый имел у себя в лаборатории машину для добывания электрических искр. Она была несовершенна: стеклянный круг при помощи рукоятки вращался на оси и терся о кожаные подушки. Стекло и кожа заряжались разноименными зарядами, эти заряды и могли создавать искры.

Кавендиш присоединил к зажимам электрической машины два провода и свободные концы этих проводов опустил в два стеклянных стакана с ртутью, а в ртуть поместил концы изогнутой стеклянной трубки. В незанятый ртутью объем трубки ученый «запер» смесь кислорода и азота, добытого из воздуха.

Три недели, днем и ночью, Кавендиш и его слуга вращали стеклянный круг электрической машины. Искры неутомимо прыгали внутри трубки из одного стакана в другой. Постепенно трубка наполнилась оранжево-красным дымом. Ученый тщательно исследовал его и обнаружил, что это были окислы азота — соединения азота с кислородом. В воздухе подобная реакция происходит при грозовых разрядах, но во времена Кавендиша этого никто не знал.



Так электрическая искра, умело использованная ученым, родила новые вещества.

Но Кавендиш не прекратил на этом опыта. Пипеткой он впустил в трубку раствор едкого натра. Красноватый дым исчез — едкий натр поглотил окислы азота. А машина продолжала работать. Новые искры скакали из стакана в стакан, все выше и выше поднималась по трубке ртуть, заполняя пустоту. Ученый решил превратить в окислы весь азот, имеющийся в трубке, поэтому все вращал и вращал ручку машины. Своей цели Кавендиш не достиг. Сколько ни гонял он искры, в трубке оставался крохотный пузырек газа, который никак не хотел вступать в реакцию.

«Это был остаток азота, — записал пунктуальный ученый, — который почему-то не удалось соединить с кислородом». Такая запись появилась в 1785 году.

Как были обнаружены световые позывные плазмы

Оставим пока в покое маленький пузырек газа, оказавшийся в стеклянной трубке у Кавендиша.

Перекочуем из восемнадцатого века в середину девятнадцатого и заглянем в лабораторию профессора химии Роберта Бунзена, который жил в небольшом немецком городе Гейдельберге.

Многие часы проводит профессор около газовой горелки,

которую он сам изобрел.

Горелка Бунзена — устройство простое. На подставке стоит металлическая трубка. Снизу по шлангу в нее подается светильный газ, а с боков через два отверстия в средней части поступает воздух. Стоит поднести спичку к верхнему концу трубки, и над ней вспыхнет бледное, почти бесцветное пламя.

Маленькое пламя, но жаркое: температура внутри него равна 2300 градусам — это на полтысячи градусов больше, чем внутри домны.

Бунзен, конечно, не знал, что пламя его газовой горелки — плазма. Не знал он точно и какова температура пламени. Но, погружая в пламя различные металлы и другие вещества, он убеждался, что они испарялись. При этом пары металлов окрашивали пламя горелки в какой-либо цвет. Натрий делал пламя ярко-желтым, калий — фиолетовым, литий — красным, медь — зеленым.

«По цвету пламени можно распознавать вещества!» — решил Бунзен и стал помещать в пламя всё новые и новые пробы. Но вскоре ученый обнаружил, что пользоваться световыми сигналами, полученными им, нельзя. Оказалось, что два разных вещества могли по-одинаковому окрасить пламя. Так, соли лития и соли стронция — обе давали малиново-красный цвет. Кроме того, трудно было отделить световые сигналы веществ, состоящих из нескольких элементов.

Бунзен попал в тупик. И тут на помощь ему пришел другой гейдельбергский профессор — физик Густав Кирхгоф. Он изобрел необычный прибор и сам придумал ему название «спектроскоп».

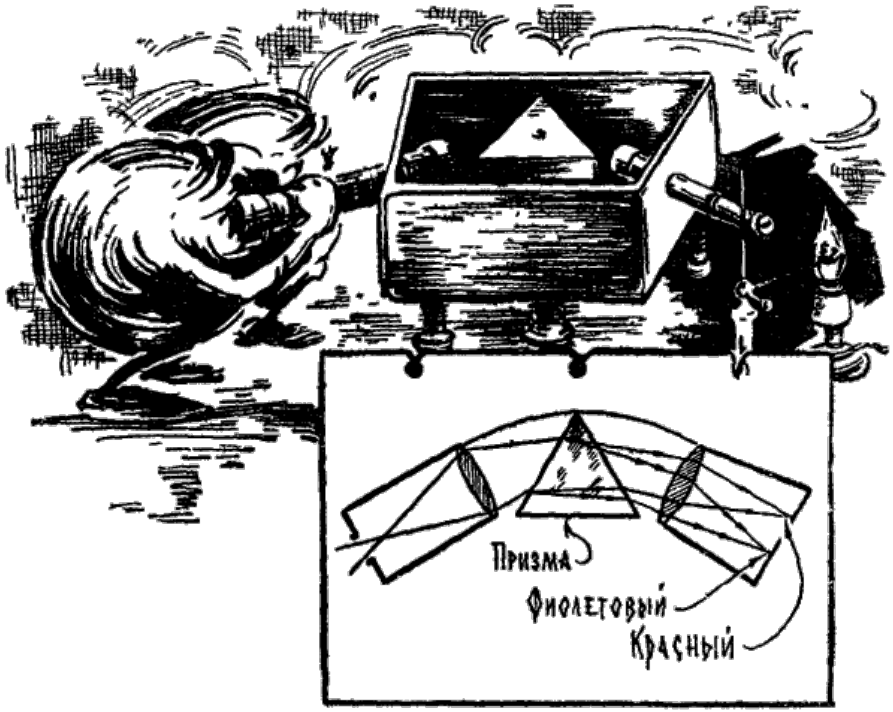
Через этот прибор и предложил Кирхгоф посмотреть на окрашенное пламя горелки.

Свершилось чудо: сплошное светящееся пламя оказалось разбитым на составные части — отдельные цветные линии. Ученые по очереди смотрели в спектроскоп и каждый раз видели не сплошную полосу света, а светящиеся линии — столбики.

Это были «позывные» веществ, превращенных газовой горелкой в плазму.

Как же смог спектроскоп Кирхгофа выделить их?

Это нетрудно понять, если разобраться в устройстве прибора. На рисунке изображена его схема.



Лучи света попадают в спектроскоп слева через узкую щель. В середине спектроскопа расположена главная его деталь — стеклянная призма, напоминающая формой небольшой клин. Световые лучи беспорядочной толпой ударяются в левую грань призмы, а выходят из призмы в строгом порядке. Если на пути этих вышедших из призмы лучей поставить экран, то на нем красные лучи обязательно будут вверху, ниже их разместятся оранжевые, потом желтые, зеленые, голубые, синие и ниже всех — фиолетовые.

Такая цветовая гамма, называемая сплошным спектром, будет в том случае, если в спектроскоп послать белый дневной свет, который является, как известно, смесью лучей вышеназванных цветов. Каждый из них по-разному преломится призмой, поэтому лучи попадут в разные точки экрана.

Раскаленные пары металлов и других веществ не обладают таким богатством световых лучей. Поэтому они, попав в пламя горелки, окрашивают его в какой-нибудь определенный цвет, а в спектре можно отыскать лишь отдельные цветные линии.

Бунзен и Кирхгоф сразу же обратили внимание на то, что у каждого вещества, помещенного в пламя горелки, в спектроскопе появляются свои линии, занимающие строго определенное место. Натрий дал одну желтую линию, калий — две красные и одну фиолетовую, медь — целое семейство зеленых, желтых и оранжевых линий. Теперь спектроскоп безошибочно распознал,

когда светится литий, а когда стронций, хотя они оба окрашивали пламя в малиновый цвет. Спектр лития состоял из одной красной и одной оранжевой линий, а стронция — из одной голубой и нескольких красных, оранжевых и желтых линий.

«Спектральный анализ» — такое название дали ученые методу распознавания веществ, предложенному Бунзеном и Кирхгофом. Сейчас без него не обходится ни одна химическая или физическая лаборатория. Но о применении его в современной науке и технике речь будет идти впереди.

А сейчас я доскажу историю пузырька газа, оставшегося в стеклянной трубке у ученого-чудака Кавендиша. Кавендиш, как мы знаем, не разгадал тайну этого остатка. За него это сделали другие спустя целое столетие.

Английский физик Джон Уильям Релей решил произвести точное взвешивание всех известных ему газов — водорода, кислорода, азота. Сделав эту работу, он обнаружил, что литр азота, добытого из аммиака, на шесть миллиграммов легче литра азота, полученного из воздуха. Опубликовав свои данные и не получив ни одного письма, в котором кто-либо объяснил поведение «воздушного» азота, Релей обратился к своему другу профессору химии Уильяму Рамзаю, но и тот ничем не смог помочь. Однако, вспомнив про опыты Кавендиша, Рамзай высказал предположение, что азот, добытый из воздуха, по-видимому, содержит примесь какого-то неизвестного газа, причем этот газ тяжелее азота.

«Возможно, — говорил он, — пузырек газа, оставшийся в трубке Кавендиша и не поддававшийся воздействию искр, и был этим самым газом».

Эта догадка полностью подтвердилась.

Ученые выделили из азота воздуха остаток газа, который, как и у Кавендиша, никак не хотел окисляться. Он был почти в полтора раза тяжелее, чем азот.

Чтобы объявить об открытии нового вещества или элемента, полагается рассказать про его свойства. Релей и Рамзай стали испытывать открытый ими газ. Что только не делали они, какие «ловушки» не придумывали они для нового газа! Его сжимали, нагревали, целыми сутками через него гоняли электрические искры — ничто не помогало, газ ко всему оставался безучастным.

В отместку ученые назвали открытый ими газ «ленивым». Тогда принято было брать названия из греческого языка, и газ получил название «аргон». В переводе на русский язык это слово и значит «ленивый».

Ученый мир узнал об открытии нового газа, растворенного в воздухе, в 1894 году на съезде английских физиков, химиков и

естествоиспытателей, проходившем в старинном городке Оксфорде.

В своем докладе Релей утверждал, что в каждом кубометре воздуха содержится около пятнадцати граммов аргона. В зале, где заседал съезд, было, утверждал ученый, ни много, ни мало — несколько пудов аргона.

Выступление Релея вызвало много споров и недоверие некоторых ученых, но, говорят, «факты — упрямая вещь», и сомневающиеся в конце концов признали правоту Релея и Рамзая.

И опять помогли в этом световые позывные плазмы. Только теперь ученые научились их «извлекать» не из пламени газовой горелки, а из разрядной трубки, через которую пропускали электрический ток.

Разноцветные линии, которые рождала плазма, помогли найти в воздухе и другие «ленивые», или инертные, газы.

Химик Рамзай со своим помощником Трэверсом доказал, что Кавендиш выделил не только аргон, но и другие газы, безразличные к посторонним воздействиям. На первых порах их не заметили, так как они содержатся в воздухе в значительно меньшем количестве, чем аргон. Проведя серию сложных опытов, Рамзай и Трэверс установили, что, кроме аргона, в каждом литре воздуха содержится: неона — 18 кубических миллиметров, гелия — 5, криптона — 1 и ксенона 1/10 кубического миллиметра.

Без спектрального анализа обнаружить эти газы вряд ли удалось бы. Ведь они «равнодушны» ко всему и ничем не выдают своего присутствия в воздухе. Недаром гелий вначале был обнаружен в спектре излучения плазмы солнца и лишь через двадцать семь лет был открыт на Земле.

Все перечисленные выше газы названы инертными вполне справедливо. Они настолько безучастны ко всему, что даже в воздухе существуют в виде атомов-одиночек. Кислород и азот, например, разбиваются на пары, молекулы этих газов каждая состоит из двух объединившихся атомов; для инертных газов слово «молекула» значит одно и то же, что и слово «атом», у них молекулы — это атомы-одиночки.

Лишь превратившись в плазму, инертные газы «соглашаются» выполнять работу — излучать свет и пропускать ток. Эти свойства сейчас широко используются в науке и технике. Газы-бездельники стали газами-работягами. И все это, повторяю, произошло благодаря тому, что плазма оказалась способной рождать цветные линии на экране спектроскопа.

— Подумаешь, — возразят мне некоторые, — раскаленное твердое тело тоже может излучать свет, значит, оно тоже может рождать спектр.

Верно, но спектр спектру рознь. Твердые тела, излучая свет, дают не линейчатый, а сплошной спектр. В нем, как и в спектре солнечного света, можно найти всевозможные цветовые оттенки. Попробуй разберись в этой цветной радуге.

Чтобы получить от вещества настоящие световые позывные — спектральные линии, его нужно превратить в плазму.

Сейчас спектральный анализ оказался надежным помощником в руках ученых. Мы еще поговорим об этом.

Творцы «Русского солнца» и «Электрогефеста»

В 1874 году начальником телеграфа Московско-Курской дороги работал Павел Николаевич Яблочков. Это был знающий дело специалист. Однажды ему дали серьезное задание: сопровождать поезд важного назначения, который следовал в Крым. Яблочкову вручили дуговой прожектор и приказали зорко следить, чтобы он исправно освещал дорогу впереди паровоза.

Яркое пламя, вспыхнувшее в коробке прожектора между двумя угольными электродами, оказалось капризным. Приходилось непрерывно следить за механическим регулятором, который сближал угли по мере их сгорания. Несколько долгих ночей провел на паровозе Яблочков, коченея от холода, но огненному жгутику плазмы погаснуть не дал. В эти ночи у Яблочкова возникло твердое решение посвятить себя работе над устройством электрического освещения. «Нужна простая, удобная дуговая лампа», — думал Яблочков и, вернувшись домой, с жаром принялся за дело.

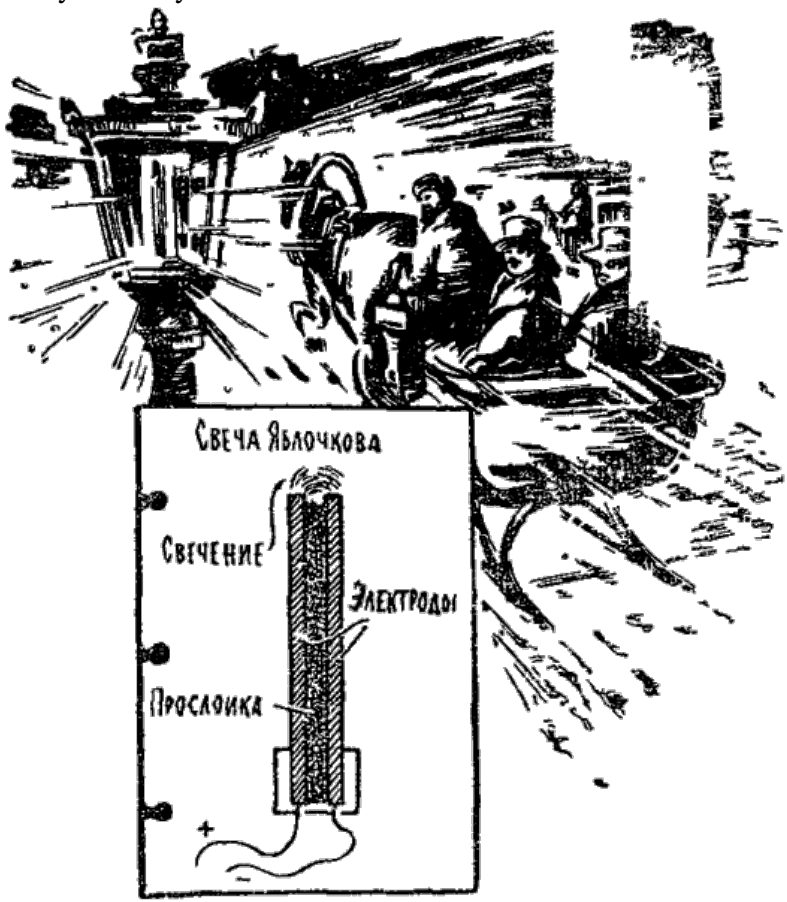
В мастерской товарища, куда он перешел работать, изобретатель ставит один опыт за другим. Яркие вспышки электрического света часто освещают окна небольшого помещения, но бегут дни, недели, а успех не приходит. Яблочков решил уехать во Францию.

В Париже русский изобретатель поступает работать в электротехническую мастерскую. Целые дни проводит он у динамо-машин, а вечерами продолжает работать над дуговой лампой.

В истории техники известны случаи, когда решение задачи приходит внезапно. «А что, если вовсе отказаться от регулятора и расположить электроды параллельно? — подумал Яблочков. — Пламя дуги, зажженное у концов электродов, будет постоянно спускаться вниз…»

Все? Нет! Нужно еще придумать способ, как удержать дугу вверху, ведь она может переметнуться к середине электродов и быстро их пережечь.

Начинаются поиски. Талантливый изобретатель наконец разрешает труднейшую техническую задачу и создает свою знаменитую «свечу Яблочкова».



И вот включен рубильник. Стоит теперь замкнуть в верхней части электроды «свечи», и яркое пламя озаряет все вокруг. Жгутик дуги устойчиво прилепился к концам электродов. Соскользнуть вниз ему не дает прослойка между угольными стержнями. Яблочков сделал ее из смеси земли, извести и других материалов. Есть в этой «замазке» даже вещество, которое окрашивает пламя в розоватый цвет. Оно нужно, чтобы лица не казались мертвенно-бледными.

С поразительной быстротой разнеслась по всему миру слава русского изобретателя. Дуговые фонари зажигаются в Париже, Лондоне, Лиссабоне, Петербурге, во владениях персидского шаха и короля Камбоджи.

«Русское солнце!» — так называют их всюду. И

действительно, только с солнцем можно было сравнить ослепительно яркий жгутик плазмы в «свече Яблочкова».

Сейчас электрический свет — обыкновенная, всем доступная вещь. А тогда?

Лучина над корытцем с водой, или светец, восковые и сальные свечи, керосиновые лампы и кое-где газовое освещение — вот чем пользовались люди во времена Яблочкова. Даже обыкновенные спички имели возраст всего лишь несколько десятилетий. И вдруг — свет, раздвигающий рамки дня, свет, который люди видели только при вспышках молнии.

«Свеча Яблочкова» — плазменный источник света, устройство, появившееся благодаря открытию В. В. Петровым электрической дуги. Начав эстафету электрического света, дуговая лампа позднее была вытеснена лампой накаливания. Ее изобрел тоже русский человек — А. Н. Лодыгин.

Казалось, плазма как источник света сыграла свою роль и на этом можно поставить точку.

Нет. Прошли годы, и она снова стала светить людям, доказав свое право на существование. Но об этом будет рассказано дальше, в отдельной главе.

А сейчас вспомним про второй «козырь», которым обладает дуга и который был отмечен еще В. В. Петровым. Я имею в виду свойство дуги создавать высокие температуры.

Где, когда, кто и как впервые использовал это ее качество?

Снова придется мне рассказывать о русских изобретателях, снова речь пойдет о славе России…

Яблочков не мог долго жить вдали от родины. При первой возможности он вернулся в Россию и открыл мастерские, в которых совершенствовал свое детище.

Среди его сотрудников был Николай Николаевич Бенардос. Он пытливо всматривается в дугу и сквозь темное стекло видит, как плавится огнеупорная глина прослойки «свечи Яблочкова». «Нельзя ли заставить, — думает Бенардос, — плавить этим пламенем металл? Нельзя ли приспособить его для исцеления сломанных машин, для изготовления новых?»

Не ослепительный свет, а жар, который заключен в дуге, на этот раз интересует изобретателя.

Бенардос помещает в пламя дуги кусочки металла и плавит их. После этого он усложняет опыты. Постепенно выкристаллизовывается схема первого в мире электросварочного аппарата.

Схема его проста.

От генератора, вырабатывающего переменный ток, тянутся два толстых провода. Один из них присоединен к свариваемой

детали, второй — к угольному электроду. При сближении электрода с деталью вспыхивает дуга. Она разогревает металл по обеим сторонам трещины, которую нужно заварить. Теперь стоит поместить в пламя дуги металлический пруток, и капли металла начнут падать в шов. Они заплавят трещину.

Просто и быстро!

Но это не все. Если перемещать дугу вдоль толстого листа железа, то дуга, выплавив бороздой металл, рассечет лист надвое.

По имени сказочного кузнеца Гефеста Бенардос называет свое изобретение «Электрогефестом». Патенты на свое изобретение он берет не только в России, но и во многих других странах.

Много полезных дел сделала сварочная установка Бенардоса. Она уверенно расправлялась с трещинами в корпусах тяжелых машин, соединяла воедино расколотые детали, резала плазменным ножом металлы.

Но у нее был один серьезный недостаток. Швы, получавшиеся при сварке, были хрупкими. Причину этого разгадал талантливый инженер-металлург горный начальник Пермского пушечного завода Николай Гаврилович Славянов.

Бенардос вел сварку угольным электродом. В пекле дуги уголь легко проникал в металл и становился с ним единым целым. Уголь — это чистый углерод, а повышение содержания углерода в железе делает железо хрупким, ломким, похожим на чугун.

Славянов выбрасывает угольный электрод, а освободившийся провод от генератора присоединяет к металлическому стержню, который у Бенардоса служил лишь материалом для шва. Сварочный аппарат принял вид, близкий к современному.

Это произошло в 1890 году.

Но Россия была отсталой страной. Царское правительство не верило в гений русского народа, преклонялось перед иностранщиной. Поэтому электросварка, как, впрочем, и многие другие замечательные изобретения, почти не нашла применения в дореволюционной России. И к русскому изобретению потянулись жадные руки иностранных капиталистов.

Лишь после Великой Октябрьской революции семена, посеянные замечательными русскими изобретателями, дали обильные всходы.

Глава V
Эстафета «Русского солнца»

Почему плазма светится?

Чтобы ответить на этот вопрос, нужно отчетливо представлять себе, что такое свет.

Вопрос этот нелегкий, и было время, когда видные ученые становились в тупик.

Знаете, чем стреляет пулемет? Пулями, вылетающими одна за другой из ствола.

А что получится, когда в пруд вы бросите камень? Волны, расходящиеся кругами во все стороны.

Кажется, нет ничего общего между этими двумя явлениями. Верно. Однако при излучении света они объединены.

Свет излучают атомы. Они «стреляют» строго определенными порциями света — квантами. Квант — это световая «пуля». Он материален. Но он не «обломок» атома, а порция электромагнитных волн, примерно таких же, как радиоволны, но только значительно более коротких. Длина световых волн — не миллиметры и метры, а доли микрона. Например, пионерский галстук посылает в наш глаз волны длиной около 0,7 микрона, а фиолетовые чернила — 0,4 микрона. Остальные цвета — синие, желтые, зеленые — имеют длину волны чуть-чуть короче красных, либо чуть-чуть длиннее фиолетовых.

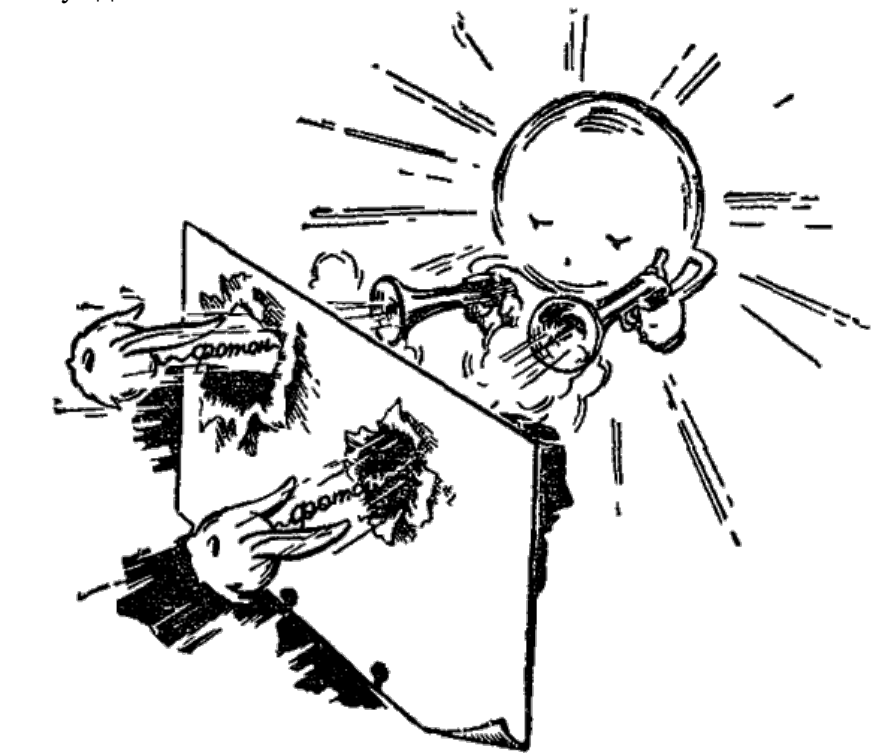
Теперь постараемся проникнуть своим воображением внутрь светящихся тел. Обычно эти сильно нагретые тела — спирали электроламп, куски раскаленного железа, топки печей — излучают целую смесь световых волн. В белом свете излучения твердых тел можно найти и красные, и оранжевые, и зеленые, и многие другие цвета. Такая «многоголосость» объясняется особенностями взаимоотношений между собой частиц нагретого тела.

Выше я уже говорил, что атомы любого тела находятся в непрерывном движении. Даже строгий порядок кристаллической решетки не может заставить их замереть на месте и не совершать никаких колебаний.

Повышение температуры тела — это увеличение размаха колебаний атомов, это — большая частота столкновений их друг с другом.

Тут и нашли ученые разгадку возникновения света.

Нормальный атом, окруженный «своими», спокойно вращающимися электронами, света не излучает. Но вот столкнулись два атома-соседа. Столкновение сказывается прежде всего на наружных частях атома, на его электронной оболочке. Силой удара какой-либо наружный электрон может оказаться отброшенным со своего места, со своей орбиты. На мгновение он попадет на соседнюю «чужую» орбиту. Атом переходит в неустойчивое состояние, как говорят физики, оказывается возбужденным.



Камень, подброшенный вверх, все время стремится упасть на землю. Так и возбужденный атом старается вернуться к обычному, устойчивому, состоянию. Поэтому, как только разошлись столкнувшиеся атомы, отброшенный электрон мгновенно возвращается на свое место. Излишек его энергии при этом выделяется в виде порции световых волн — фотона, или кванта света.

Самые слабые фотоны имеют красный свет. Большой энергией обладают световые «пули» фиолетового света. Короче говоря, чем меньше длина волны, тем большей энергией обладает световое излучение. Зная это, легко объяснить, почему кусок железа при нагревании вначале светится красным, потом оранжевым и, наконец, желтовато-белым светом. Более «крепкие»

соударения атомов вызвали к жизни фотоны больших энергий. А так как в твердом теле атомы близки друг к другу, то при сильном нагревании столкновения атомов могут быть самыми разнообразными — и сильными, и средними, и слабыми. Поэтому твердое тело излучает, как правило, фотоны всех сортов, спектр его излучения сплошной, и глазом это излучение воспринимается часто как белый свет.

Несколько иное происходит в плазме. В ней молекулы и атомы газа друг от друга расположены далеко, и атомы возбуждаются не под влиянием взаимных соударений, а благодаря тому, что в них ударяются свободные электроны.

Мы уже знаем, как образуются лавины электронов, как газ — изолятор превращается в плазму — хороший проводник тока. Свободные электроны, устремляющиеся к аноду, оказывается, могут не только ионизировать атомы или молекулы, но и возбуждать их. Ионизация и возбуждение — это две стороны одной медали. В плазме эти процессы совершаются непрерывно.

Здесь также все зависит от скорости электрона, от силы его удара.

Проследим за движением одного из атомов, составляющих электронную лавину.

Электрические силы неумолимо влекут его к аноду разрядной трубки. Скорость электрона непрерывно возрастает. Но вот на пути электрона оказывается преграда — атом газа. Электрон ударяется в эту громаду, имеющую вес в тысячи раз больший, чем вес электрона. Если скорость электрона мала, то соударение его с атомом ни к чему не приводит. Электрон, словно шарик от стенки, отскакивает от атома, потеряв всего лишь сотую долю процента своей кинетической энергии. Но если электрон движется достаточно быстро, он может внести «беспорядок» в планетной системе атома. Атом оказывается возбужденным и излучает квант света.

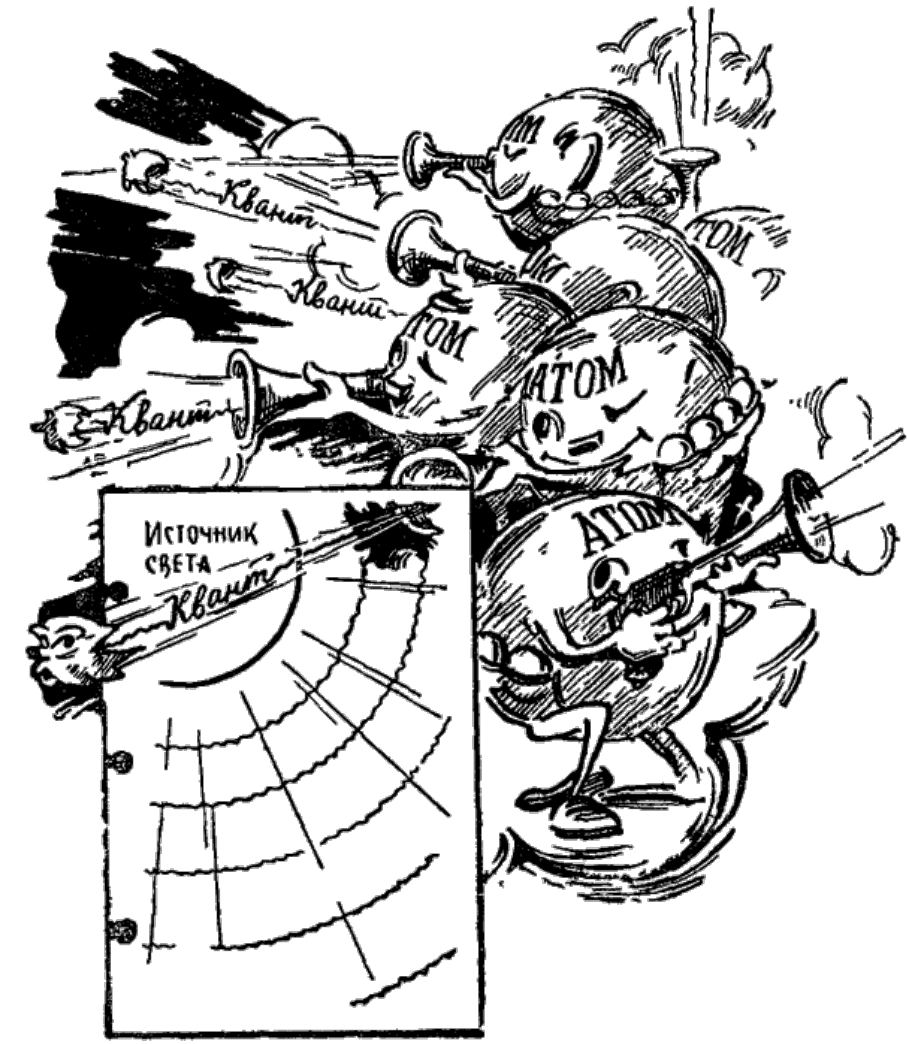
Атомы каждого элемента имеют строго определенное число орбит, на которые могут переходить электроны при возбуждении. Соседи-атомы в газе находятся далеко и своими электрическими и магнитными полями не влияют на «поединок» электрона с данным атомом. Поэтому-то атомы плазмы как правило «стреляют» вполне определенными фотонами, свойственными данному газу, и окрашивают плазму во вполне определенный цвет.

Примерно так же происходит возбуждение семейств атомов — молекул газа. В трубке, наполненной не отдельными атомами, а молекулами, электроны даже более успешно возбуждают их, заставляя излучать фотоны.

Кванты световой энергии, «выстреливаемые» атомами, не сразу попадают в наш глаз. Они бесчисленное число раз передаются от одного атома к другому, описывая причудливый зигзагообразный путь, пока не покинут газ, пройдя через стекло разрядной трубки. Значит, кванты света — фотоны — сами способны возбуждать атомы, на которые они наталкиваются.

Может возникнуть вопрос: а не рождают ли свет и положительные частицы — ионы, которые движутся к катоду навстречу электронам? Ведь они тоже ударяются о молекулы газа.

Ответить на этот вопрос нетрудно, если вспомнить, что ионы во много раз тяжелее электронов и скорость их движения значительно меньше скорости легких и подвижных электронов. Благодаря этому шансы на возбуждение ионами газа значительно меньше, хотя оно и имеет место.



Чтобы иметь более полное представление о «кухне» свечения

плазмы, нужно рассказать еще об одной причине появления фотонов внутри нее.

Плазма — это хаос заряженных и нейтральных частиц газа. В ней непрерывно происходит смена ролей: миллиарды ионизированных атомов становятся нейтральными, их ряды пополняют новые миллиарды атомов, подвергшихся ионизации.

Превращение положительного иона плюс электрон в нейтральный атом — это переход к более устойчивому состоянию. В микромире всякий такой переход сопровождается выделением энергии.

В виде чего выделяется энергия при нейтрализации зарядов в плазме? В виде фотонов, порций света. Этот свет вливается в общий «хор» световых сигналов, рожденных в недрах плазмы.

Вы послали фототелеграмму…

Однажды со мной был такой случай. Ночью пронзительно зазвонил телефон.

— Будете говорить с Хабаровском, — услышал я усталый голос телефонистки.

Телефонные провода донесли до меня голос старого товарища, ставшего инженером в один день со мной.

Ночной разговор был короток. Из него я уяснил, что в лаборатории, где работал мой товарищ, не ладятся дела с одним важным электронным прибором, до сдачи которого остались считанные дни.

— Высылай характеристики полупроводниковых триодов, — попросил меня товарищ и продиктовал список триодов, которые интересовали его лабораторию.

Я знал, что значит электронная схема, которая не хочет работать, как положено. Я знал, что такое считанные дни, которыми располагают конструкторы. И ночной телефонный звонок — это, видимо, была последняя ставка небольшой группы людей в далеком Хабаровске, которые во что бы то ни стало хотели закончить работу в срок.

Утром я пришел на московский телеграф.

— Примите фототелеграмму… очень важно, — сказал я девушке и выложил несколько листков, экономно исписанных цифрами, буквами и разрисованных разными кривыми.

С телеграфа я ушел успокоенный. Я знал, что дня не пройдет, и мой товарищ будет иметь все необходимое для работы.

Фототелеграф — замечательное достижение техники, позволившее тысячам людей передавать из одного города в другой письма, чертежи, рисунки, фотографии.

Причем же тут плазма? — спросит читатель.

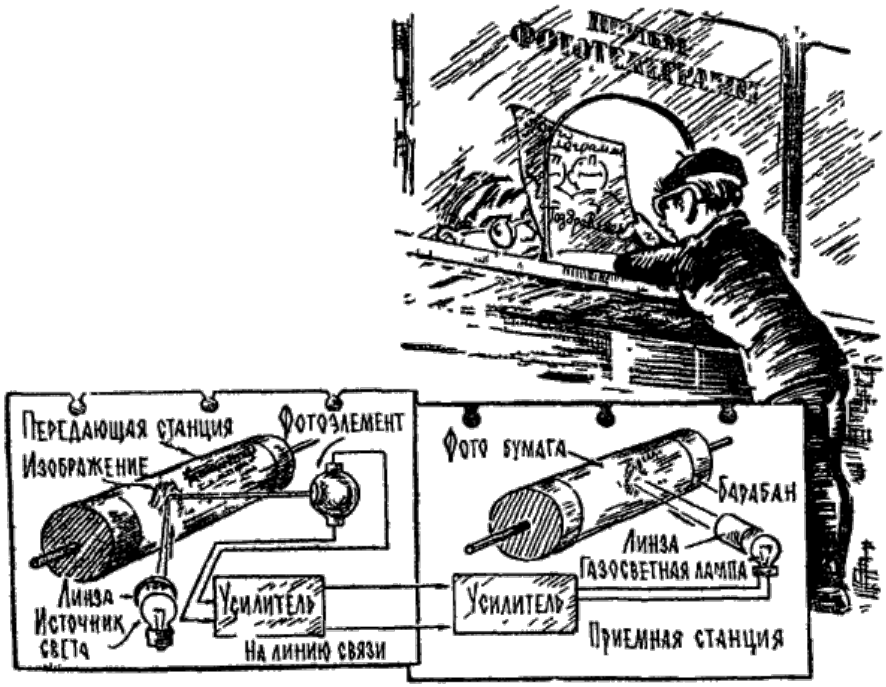
А вот причем: если бы не существовала плазма, то фототелеграфа в том виде, в каком он находится сейчас, не было бы. Посмотрим же, какую роль играет плазма при обмене фототелеграммами.

Разные предметы по-разному отражают свет. Направьте луч карманного фонаря на консервную банку. Она заблестит. Перенесите теперь луч на черную поверхность вашего зимнего пальто: света отразится гораздо меньше.

На передающей станции острый луч света упирается в круглый барабан. На барабане закреплена поданная вами телеграмма. Так как барабан вращается и постепенно ползет вдоль своей оси, то луч света «обшарит» все закоулки телеграммы. Рядом стоит фотоэлемент, он ловит отраженный свет и превращает его в ток. Светлые участки фототелеграммы пошлют в окошко фотоэлемента много света, темные — значительно меньше. В зависимости от этого и ток в цепи фотоэлемента будет то большим, то маленьким.

Электрические сигналы фотоэлемента, усиленные до нужной величины, мчатся по проводам и попадают на приемную станцию. Здесь тоже есть вращающийся барабан. Он в точности повторяет все движения своего «собеседника» — барабана, находящегося в тысячах километров от него. Барабан этот обернут чувствительной фотобумагой.

Какой же художник будет «рисовать» на этой фотобумаге те замысловатые кривые и колонки цифр, которые вы сдали в окошко девушке-приемщице?



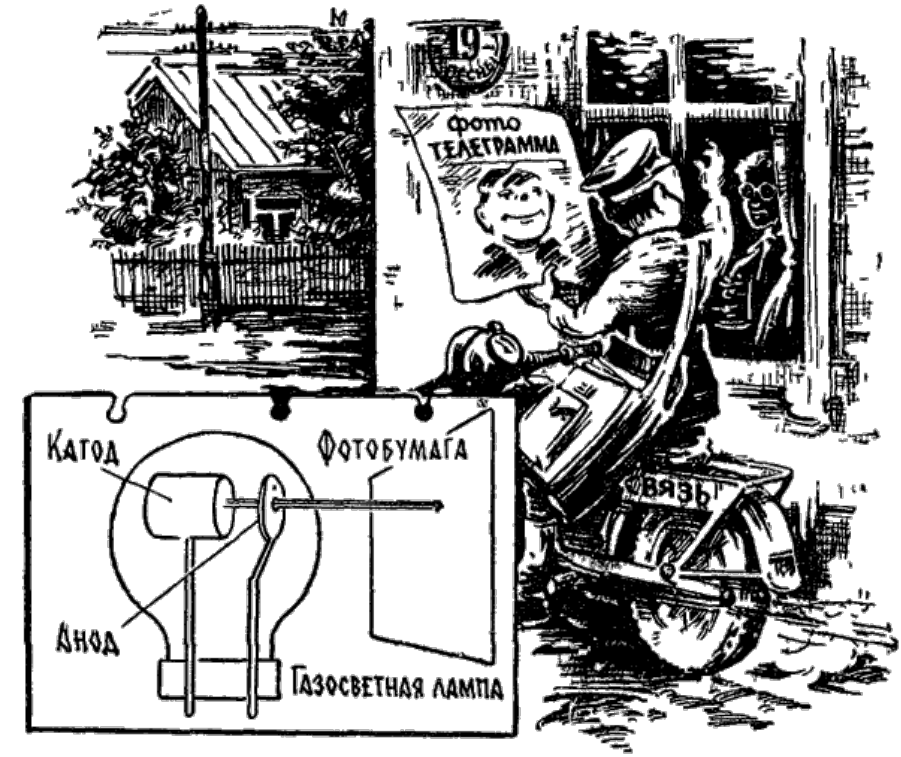
Плазма. Она заключена в небольшой стеклянный баллончик и излучает тонкий луч света. Баллончик с плазмой называется газосветной лампой В ней между электродами то ярче, то слабее горит тлеющий разряд.

Вы, очевидно, помните его «портрет». Все части тлеющего разряда возникают только в трубке достаточно длинной, когда расстояние между анодом и катодом велико.

Если каким-либо образом сближать анод и катод в трубке, в которой живет тлеющий разряд, то получится довольно интересная картина: катодные части разряда останутся неизменными, а положительный столб будет становиться все короче.

В газосветной лампе, используемой в фототелеграфии, положительного столба нет, так как катод и анод находятся близко друг от друга. В ней свет рождается благодаря отрицательному тлеющему свечению.

Плазма возникает в смеси газов аргона, неона и небольшого количества паров ртути. Именно такой состав «начинки» лампы обеспечивает наилучшее воздействие ее света на фотобумагу.



На рисунке изображено устройство газосветной лампы. В ней катод выполнен в виде пустого цилиндрика, а анод — в виде круглой лепешки с маленьким отверстием в центре. Через него острый, как игла, световой луч вырывается наружу и попадает на фотобумагу.

Катодное свечение тлеющего разряда чутко реагирует на силу тока, протекающего через плазму.

Увеличился ток — свечение мгновенно становится ярче и световой луч сильнее засвечивает фотобумагу, уменьшился ток — все происходит наоборот.

Когда на приемной станции фототелеграфа световой луч закончит свой путь по фотобумаге, начинается обычная работа, известная любому из нас. Лист бумаги погружают в проявитель, потом в закрепитель, тщательно промывают, сушат, и фотодепешу можно нести адресату.

Получая плотный, аккуратно обрезанный листок фототелеграммы, не каждый из нас знает, что над ним старательно трудилась и плазма.

Буквы, написанные огнем

Было время, когда надписи над входами магазинов, предприятий и учреждений делали только при помощи красок и кисти. Но это было неудобно: краски портились, блекли, а вечером меняли свой цвет, становились малозаметными.

Около шестидесяти лет назад, в 1904 году, появились первые надписи, написанные «огненными» буквами. Золотисто-желтый цвет этих надписей был виден далеко и привлекал всеобщее внимание. Когда прохожие внимательно приглядывались к необычным надписям, они видели стеклянные трубки, от которых тянулись электрические провода. И больше ничего. Трансформаторы и другое «хозяйство», которое рождало в трубках плазму, было спрятано за витринами и на глаза прохожим не попадалось.

В первых плазменных надписях золотисто-желтое свечение создавал азот, которым были наполнены стеклянные трубки. В торцах трубок монтировались небольшие металлические кружочки — электроды, между которыми и зажигался разряд.

После того как ярко-желтая плазма надписей и вывесок завоевала право на существование и была признана, захотелось иметь светящиеся буквы других цветов. Стали «обучать грамоте» другие газы. Прошло немного времени, и на вывесках появились светящиеся буквы и цифры, испускающие свет самых различных окрасок. Трубки, наполненные неоном, давали яркий красно-оранжевый свет, аргоновые светились бледно-голубым свечением. Если к аргону примешивали немного паров ртути, то плазма излучала синий свет. А когда такую синюю плазму прятали в трубку из желтого стекла, надпись казалась написанной зеленым огнем.

Первые светящиеся буквы получали в прямых, как линейка, стеклянных трубках. Потом выяснилось, что, если трубку изогнуть или даже свернуть в спираль, плазма продолжает жить, разряд в ней не прекращается. Теперь художники и мастера-стеклодувы смогли дать простор своей фантазии. Плазмой стали писать не только цифры и буквы, но и «рисовать» контуры автомобилей, самолетов, различных рекламируемых товаров и даже силуэты людей.

Читая о надписях, написанных огнем, вы должны знать, что слово «огонь», конечно, применяется в переносном смысле. Огня в буквальном смысле внутри трубок нет, и сами трубки, если к ним прикоснуться, пальцев не обожгут. Почему?

Потому что в светящихся трубках-буквах горит тлеющий разряд, который, как вы уже знаете, большую долю потребляемой электроэнергии превращает в свет. Поэтому трубка почти не нагревается.

Если в лампах-сигнальщиках «работает» только катодное свечение, то в светящихся буквах налицо все участки тлеющего разряда. Так как катодные участки занимают небольшую часть длины трубки, то мы, по существу, видим свечение положительного столба разряда.

За последнее время в плазменной «грамматике» появилось много нового. Прежде всего большое разнообразие цветов и оттенков. Но вы ошибетесь, если подумаете, что трубки стали заполнять какими-то другими, особенными газами, дающими излучения различной окраски. Внутри светящихся букв по-прежнему добросовестно трудятся либо неон, либо аргон. Но

испускаемый ими свет не вырывается наружу, он ударяется о тонкую пленку порошка — люминофора, которым трубка покрыта изнутри. Эти волшебные порошки поглощают одни световые волны, а излучают другие.

Есть такой порошок — люминофор с мудреным названием «вольфрамат кальция». Если им покрыть внутренность неоновой трубки, то он охотно будет «питаться» красным светом плазмы неона, а «выдавать» красивый ярко-синий свет. Благодаря этому и трубка будет светиться синим светом. Другой люминофор — силикат кадмия — рождает нежно-розовый свет, а ортосиликат цинка — ярко-зеленый.

Поэтому, глядя на светящуюся надпись, нужно осторожно решать вопрос, что вы видите — плазму или люминофор, в который плазма вдохнула жизнь. Если же вы убедитесь, что светится люминофор, а не газ, то по цвету надписи можете догадаться, в каком газе внутри трубки зажжен разряд.

Розовые оттенки сигнализируют о том, что внутри трубки происходит тлеющий разряд в неоне. Зеленые, белые и голубые цвета — признак того, что трубка наполнена аргоном в смеси с парами ртути. Такое разделение ролей сделано для того, чтобы увеличить светоотдачу люминофора.

В последнее время для больших, наиболее ярких рекламных объявлений стали применять трубки, внутри которых горит не тлеющий, а дуговой разряд. Такие трубки нетрудно «узнать» на улице: они, как правило, дают яркое оранжево-красное свечение.

Неудобство светящихся надписей — это необходимость применения трансформаторов, которые повышают напряжение электросети и позволяют тем самым зажигать в трубках разряд. Нельзя ли от них избавиться? Оказывается, можно. Одна английская фирма создала такие светящиеся надписи, которые прекрасно обходятся без трансформаторов, проводов и… без электроэнергии. Внутри трубок находится газ криптон, но не обычный с атомным весом 83,7, а радиоактивный, с атомным весом 85. Этот газ светится непрерывно, дни и ночи, создавая плазму собственной ядерной энергией.

Светильники, не нуждающиеся ни в чем, — так можно назвать новые источники света. Они широко будут применяться не только в надписях-рекламах, но и для освещения в шахтах, на предприятиях и в быту.

Надежный сигнальщик

Представим себе, что мы находимся на каком-нибудь заводе.

Снабжение различных цехов электроэнергией здесь производится с одного распределительного пункта. Дежурный электрик зорко смотрит за тем, поступает ли энергия туда, куда нужно, и по мере необходимости делает переключения. Ни минуты не должны стоять станки из-за отсутствия электроэнергии. Но отсюда в разные стороны расходятся сотни проводов, и разобраться в том, подано ли на них напряжение, не так просто.

Плазма тлеющего разряда добросовестно помогает в этом.

Перед глазами электрика смонтирован целый ряд осветительных патронов. В них ввернуты лампы, очень похожие на обычные. Но они не ослепляют, а излучают ровный оранжево-красный свет.

Это тоже сигнальные неоновые лампы. Внутри них вместо спирали смонтированы два электрода размером в пятнадцатикопеечную монету, расположенные один над другим. Когда на лампу подано электрическое напряжение сети, в неоне вспыхивает тлеющий разряд, который и сигнализирует электрику, что все в порядке.

В этой лампе-сигнальщике используется катодное свечение. Оно вспыхивает то у одного электрода, то у другого, потому что при питании лампы переменным током роли электродов все время меняются. Но наш глаз не успевает замечать эту смену ролей, и кажется, что плазма светится одновременно около обеих монет — электродов.

Хорошим помощником служит плазма-сигнальщик у монтажников электроустановок.

Представьте себе, например, что монтажники закончили сборку сложной электрической схемы.

В путанице проводов, в нагромождении деталей трудно определить, верно ли подключены отдельные узлы и различные агрегаты.

Но если есть неоновая лампа, не нужно, как следопыту, прослеживать путь провода, желая узнать, где плюс и где минус источника тока.

Достаточно к концам провода подключить эту лампу, и все станет ясно. У одного из электродов лампы вспыхнет ярко-оранжевый венчик катодного свечения, а другой светиться не будет. Теперь монтажник знает, что светящийся электрод — катод, он соединен с минусом источника тока, следовательно, второй провод подключен к плюсу.

Можно без конца приводить примеры того, какую помощь

оказывает плазма-сигнальщик. Ее можно встретить на пультах управления автоматическими поточными линиями и цехами-автоматами, на панелях сложных электронных приборов и в кабинах самолетов, в исследовательских лабораториях и у горняков в шахтах. Этот сигнальщик надежен, удобен и очень мало потребляет электричества. Во всех таких сигнальных лампах используется катодное свечение тлеющего разряда.

В аэропортах и на речных линиях тоже применяются плазменные сигнальные лампы, которые помогают летчикам совершать посадку на аэродром, а капитану парохода — выбирать безопасный путь. Внутри этих сигнальных ламп свет рождается очень яркий, поэтому он виден далеко. Катодное свечение тлеющего разряда такой «дальнобойностью» не обладает, поэтому в мощных лампах-сигнальщиках как правило используются другие виды разряда.

Закончить рассказ о плазменных лампах-сигнальщиках мне хочется, познакомив вас с одной новинкой в этой области. С нею я встретился на Московском электроламповом заводе, где создаются все основные типы плазменных — и не только плазменных — источников света.

В лаборатории завода мне показали лампы-малютки — добрый десяток таких ламп может поместиться на вашей ладони. Мне объяснили, что это люминесцентные лампы.

Когда их вставили в небольшие гнезда и включили ток, лампочки загорелись — одни желтым, другие оранжевым, третьи зеленым светом. Откуда взялось такое разнообразие цветов? — возник у меня вопрос, но, вспомнив название ламп, я сразу нашел ответ: свет в лампочках-малютках рождали люминофоры.

Устройство новых сигнальных ламп несложно: в стеклянном баллончике, наполненном инертным газом, помещены два крохотных электрода. Внутренняя поверхность баллона покрыта порошком-люминофором. Стоит включить лампу, и между электродами вспыхивает тлеющий разряд. И, как в лампе дневного света, лучи, рожденные разрядом, заставляют люминофор светиться. В зависимости от того, какой взят люминофор, получается желтое, оранжевое либо зеленое свечение.

Когда на заводе принимались за разработку этих ламп, некоторые специалисты не верили, что разряд в инертном газе сможет возбудить люминофор, создать сигнал необходимой яркости. «Нужны пары ртути, — говорили эти специалисты, — разряд в парах ртути богат ультрафиолетовым светом, который больше всего любят люминофоры». Но это было ошибочное мнение: сотрудникам заводской лаборатории после кропотливой и настойчивой работы удалось добиться нужного результата именно с инертными газами.

Получились надежные миниатюрные сигнальные лампы — новое слово в этой области техники.

Конечно, и раньше умели делать малогабаритные сигнальные лампы. Но это были неоновые лампы, создающие лишь один, оранжевый, сигнал. А здесь получили несколько цветных сигналов. В кабине самолета, на пульте управления цехом или заводом многоцветие сигналов, бесспорно, более удобно. Кроме того, сигнал неоновой лампы хорошо заметен, если смотришь на нее в упор, люминесцентная же сигнальная лампа хорошо видна и сбоку, потому что у нее светится весь купол.

До создания новых сигнальных ламп разноцветные сигналы получали так: ставили лампу накаливания и закрывали ее цветным стеклом. Такая лампа занимала много места и, самое

неприятное, потребляла много энергии. Специалисты-ламповики говорят, что снизить мощность лампы накаливания хотя бы до десятка ватт очень трудно: нужно в нее вмонтировать спираль микронной толщины.

Люминесцентные лампы-малютки отличаются скромным «аппетитом»: каждая из них потребляет лишь около одного ватта мощности. Это одно из многих достоинств новых ламп. Люминесцентные сигнальные лампы могут работать как на постоянном, так и на переменном токе, они хорошо выдерживают тропическую жару и жестокий мороз, не отказываются служить при сильной тряске и вибрациях, не выходят из строя, когда питающее напряжение ненадолго увеличится в полтора раза сверх нормы. В отличие от обыкновенных неоновых ламп, новые лампы в течение всего срока службы светятся ровным светом, не тускнеют. А служить они могут полторы тысячи часов!

Лампы-сигнальщики нужны нашему народному хозяйству, авиации и флоту в миллионах экземпляров. Переход на новые лампы позволит экономить много электроэнергии, улучшит качества и уменьшит габариты аппаратуры. Ждать этого недолго: в Белоруссии создается предприятие, которое будет выпускать столько ламп-малюток, что потребность в них будет удовлетворена полностью.

Плазма помогает считать

Современная техника — это техника больших скоростей и высокой точности.

Работает на ином предприятии сложная и дорогая машина. Ее вал в каждую минуту делает добрый десяток тысяч оборотов. Законы производства неумолимы: скорость вращения должна быть строго постоянной, иначе вместо добротной продукции машина станет выпускать брак.

Для поддержания числа оборотов на одном уровне инженеры придумали много хитроумных приспособлений. Рабочий, передвигая рычажки и нажимая кнопки, по своему желанию может заставлять машину ускорять или замедлять ход.

Но как подсчитать число оборотов маховика машины, если, взглянув на него, видишь сплошной серый круг?

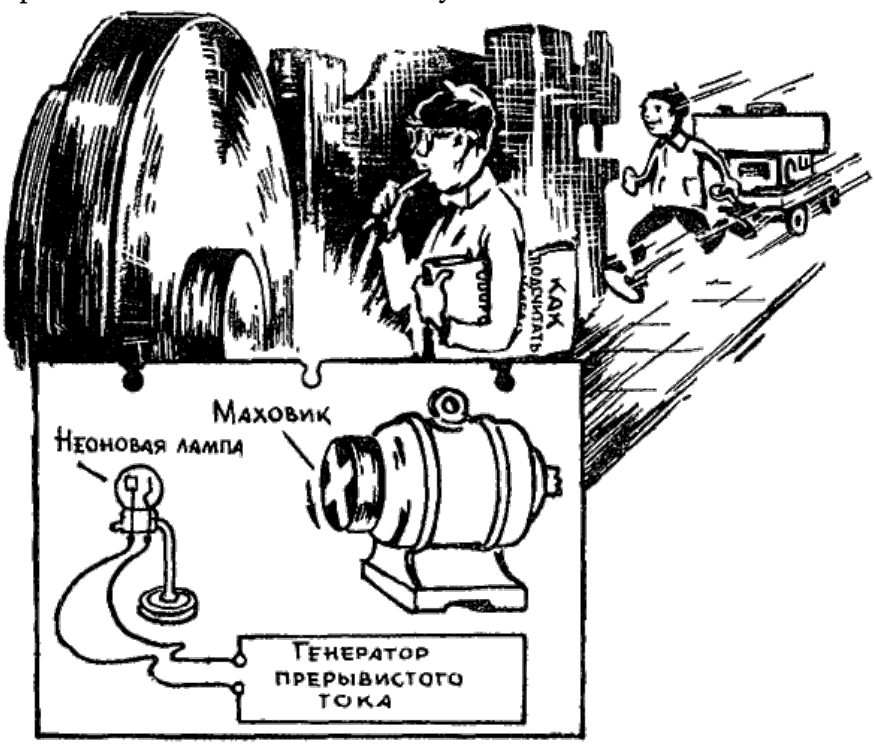
Нужны приборы, ответит мне читатель. Верно, без приборов эту задачу разрешить невозможно.

Когда скорости вращения не были такими бешеными, как

сейчас, с подсчетом числа оборотов легко справлялись небольшие машинки-тахометры. Большинство из них работает на центробежном принципе. Приставишь такую машинку к центру вращающегося маховика, и в ней начинает вращаться валик. Тотчас же легкие грузики, связанные рычажками с этим валиком, расходятся в стороны и тянут за собой стрелку прибора. Цифра на шкале, против которой замрет стрелка, и есть число оборотов маховика.

Просто, но неудобно. Неудобно и неточно, особенно, если обороты измеряются тысячами.

Какой выход нашли конструкторы? Они отыскали более добросовестный счетчик — плазму.



Взгляните на рисунок. На торец маховика машины наклеено косое перекрестие из двух полосок белой бумаги, перед маховиком — неоновая лампа катодного свечения. Лампа питается от генератора прерывистого тока.

Помните газосветную лампу, установленную на фототелеграфе? Тлеющий разряд внутри нее чутко отзывается на все изменения тока. Лампа нашего «плазменного» счетчика тоже отличается такой чуткостью. Если через нее пропускать прерывистый ток, то лампа начнет мигать — гаснуть и загораться. Эти вспышки будут происходить без всякого запаздывания, даже если число их — полтора-два десятка тысяч в секунду.

Но вот включен рубильник, и маховик стал стремительно вращаться. Белое перекрестие на нем исчезло — глаз бессилен его увидеть. Теперь включим генератор прерывистого тока. Неоновая лампа тотчас начнет посылать одну порцию света за другой и освещать торец маховика.

А теперь осталось сделать самое простое: поворотом небольшой рукоятки на генераторе прерывистого тока изменять число вспышек неоновой лампы. На маховике «проявится» белое перекрестие. Когда оно замрет на месте — число оборотов маховика в точности равно числу вспышек ламы.

Я думаю, вы без труда догадаетесь, почему полоски бумаги кажутся неподвижными. Просто лампа освещает их после каждого оборота все время в одном и том же положении. Даже небольшое расхождение числа оборотов маховика и числа вспышек лампы будет вами замечено: перекрестие станет вращаться в ту или иную сторону.

Прибор назван стробоскопом. Он применяется не только для подсчета числа оборотов валов машин и подгонки их до нужной величины.

Возьмем такого врага современных машин как вибрацию. Она наносит нередко чувствительные и неожиданные удары по деталям и механизмам, казавшимся предельно прочными. Вибрация изнашивает машину, «утомляет» металл, она — враг, и с нею приходится непрерывно бороться.

Чтобы эта борьба была успешной, нужно точно знать, с какой частотой колеблются, вибрируют различные детали. Плазма позволяет это узнать без ошибки.

На деталь наклеивают полоску бумаги или прочерчивают на ее поверхности белую линию. Рядом устанавливают неоновую лампу и генератор прерывистого тока. Заработала машина — включают стробоскоп. Легкое поворачивание ручки числа вспышек — и на шкале прибора можно увидеть, с какой частотой «дрожит» данная деталь.

Стробоскоп можно успешно применять для настройки струнных музыкальных инструментов. Каждая струна гитары, виолончели, рояля должна иметь свой, строго определенный голос. Этот «голос» определяется частотой колебаний струны. Заставьте неоновую лампу вспыхивать с этой частотой и приблизьте ее к струне. Меняя натяжение струны, добейтесь такого положения, чтобы звучащая струна казалась вам неподвижной. Это значит, что она вибрирует с заданной частотой. Установить эту частоту помог наш плазменный «камертон».

Старые знакомые

В этом рассказе пойдет речь о прожекторе и киноаппарате — о наших старых знакомых. Действительно, любой из читателей видел прожектор на стройке, в порту, на площадях городов перед салютом в дни праздников. А о кино и говорить нечего: его смотрят все — и маленькие и взрослые.

Но причем тут плазма? — может возникнуть вопрос.

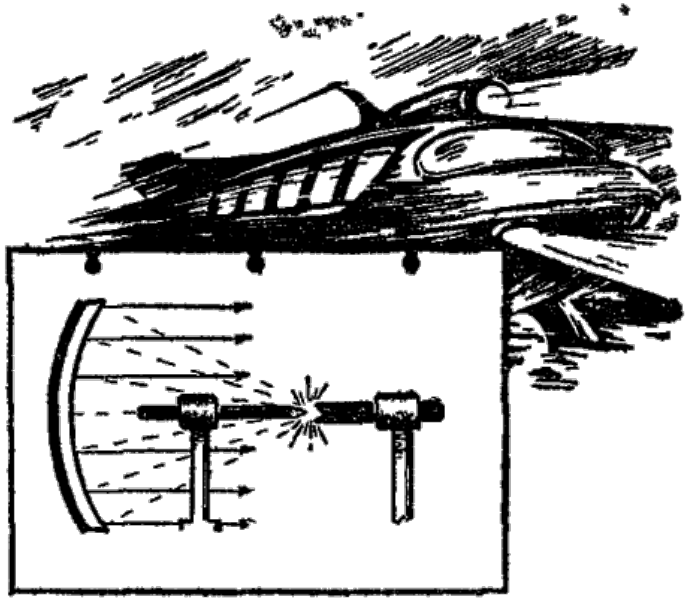
Оказывается, не было бы плазмы, не было бы таких «дальнобойных» прожекторов и не появились бы такие киноаппараты, которые встречаются сейчас в любом большом кинотеатре.

И в прожекторе и в киноаппарате плазма — главное действующее лицо.

Подойдем к прожектору и посмотрим, как он работает.

В огромной стальной лире закреплен большой кожух — котел. Лира может поворачиваться вокруг своей оси, а кожух — наклоняться вниз и «глядеть» вверх. Благодаря этому прожектор может светить в любом направлении.

Внутри железного кожуха помещена самая большая деталь прожектора — отражатель. Это вогнутое зеркало из металла или из жаропрочного стекла. В фокусе отражателя бушует пламя электрической дуги. Простые и надежные автоматы зорко следят за тем, чтобы дуга не погасла, они сближают угольные электроды по мере их сгорания. Другие автоматические руки в любое время готовы прийти в действие, если плазма окажется не в фокусе установки.



Знаете ли вы, с какой яркостью светится каждый квадратный сантиметр Солнца? В 169 000 свечей! А прожекторный отражатель? У обычных прожекторов — до 15 000 свечей, а у самых мощных — до 78 000 свечей с каждого квадратного сантиметра. Это всего лишь в два с небольшим раза меньше, чем у Солнца. Прожектор начинает состязаться с громадным светилом!

Между прочим, электродуговой прожектор на полтора десятилетия «старше» «свечи Яблочкова» — первой электрической лампы. Если триумф «русского Солнца» начался в 1876 году — после Всемирной выставки физических приборов в Лондоне, то первый дуговой фонарь появился в 1849 году. Он вспыхнул в Петербурге на вышке Адмиралтейства, осветив начало двух проспектов — Невского и Вознесенского — и Гороховской улицы. Однако этот «фонарь» не был еще прожектором — он не имел отражателя. Лишь через десятилетие уже в Англии применили дугу в прожекторах маяков. А позднее прожекторы прочно обосновались в армиях большинства европейских стран и дожили до наших дней.

Трудно только перечислить все применения прожекторов, внутри которых бушует плазма дуги. Они указывают путь самолетам и кораблям, освещают посадочные площадки на аэродромах, превращают ночь в день на стройках гидроузлов и заводов, используются при киносъемках. А какое море света вспыхнуло над Москвой в День Победы, когда тысячи огненных лучей прожекторов метнулись в небо и словно приподняли его. Астрономы утверждают, что если бы в это время на Луне был

человек, он невооруженным взглядом заметил бы блеск прожекторных зеркал! А ведь заставила их блестеть электрическая дуга, плазма.

А сейчас совершим экскурсию в кинотеатр, зайдем в аппаратную.

Здесь на прочных фундаментах, исключающих какую-либо вибрацию, установлены кинопроекционные аппараты. Солидно поблескивают они хромированными деталями. Но эти аппараты мертвы и бесполезны, если в них не горит электрическая дуга. Как только между двумя угольными электродами возникнет плазма, мощный поток света рванется через систему стекол и линз, просветит кадры движущейся пленки. На экране появятся живые изображения. Есть в аппарате и обычная небольшая лампочка накаливания. Часть ее света попадает на звуковую дорожку, встречается с фотоэлементом и «заставляет» людей на экране петь и разговаривать.

Известно, что дуга, питаемая постоянным током, горит ровнее, устойчивее. Для кино это очень важно: на экране должно быть хорошее, яркое изображение, а мерцающий источник света создать его не сможет. Поэтому дуговые электропроекторы питаются выпрямленным, постоянным током. Это, правда, немного усложняет схему и заставляет киномехаников следить за электродами, которые сгорают с разной скоростью, но зато цель оказывается достигнутой.

И все же дуговые источники света в кинопроекторах заставляли ученых думать об их замене. Соседство открытого пламени дуги и кинопленки, которая способна загораться, не очень удобно. Да и изготовление большого числа специальных угольных электродов, снабжение ими кинотеатров тоже доставляет немало хлопот.

Нельзя ли дугу запрятать в стеклянный футляр, иными словами, дугу заменить газоразрядной лампой? Оказалось, можно, и сделать это удалось на Московском электроламповом заводе.

Проекционная газоразрядная лампа — это небольшой баллон из кварцевого стекла с двумя электродами, внутрь которого накачан инертный газ ксенон при давлении в несколько атмосфер. С электрической цепью электроды соединяются при помощи специальных вводов — трубочек из фольги, впаянных в кварц. Поставив такую лампу, киномеханики уже не заботятся о пополнении запасов электродов, не опасаются возникновения пожара, не следят за работой дуговых автоматов. Поворот выключателя — и лампа посылает на экран мощный поток света, который по спектру почти не отличается от солнечного.

Первая ксеноновая проекционная лампа испытывалась несколько лет назад в московском кинотеатре «Стрела». Потом такие лампы вспыхнули в других кинотеатрах столицы и многих городов нашей страны. Для кинозалов на 1200 мест была создана ксеноновая лампа мощностью в три киловатта, что в три раза больше мощности первых ламп.

Следует отметить, что в создании газоразрядных проекционных ламп наша страна идет впереди других стран. Так, трехкиловаттная лампа у нас была освоена раньше, чем, например, в ФРГ — стране с высокоразвитой электропромышленностью.

Кто бывал в Москве на Выставке достижений народного хозяйства, тот, очевидно, посетил кинотеатр-кругораму. В нем зрители располагаются в центре небольшого зала, а экран находится вокруг них. Изображение на таком необычном экране создается несколькими кинопроекторами, расположенными по окружности. В кругораме, созданной в СССР, были применены ксеноновые проекционные лампы, позволившие получить на экране очень хорошее изображение. В американской же кругораме, которая демонстрировалась на выставке в Москве, экран освещался лампами накаливания, спектр которых значительно хуже спектра ксеноновых ламп.

Сейчас советские специалисты штурмуют новый рубеж в этой области. Они уже создали кинопроекционную ксеноновую лампу мощностью в пять киловатт и намерены эту цифру удвоить. Такие мощные лампы нужны, например, в панорамных кинотеатрах, имеющих большие экраны. Лампа, о которой здесь идет речь… разборная. Таких ламп еще не создавали ни в одной стране.

Основная трудность, с которой встретились при создании мощных проекционных ламп, — это необходимость охлаждения электродов, иначе кварцевое стекло перегревалось и лампа выходила из строя. В разборной лампе удалось применить пустотелые электроды, внутри которых при работе лампы циркулирует вода. Она-то и охлаждает электроды, не дает лампе перегреться. Конечно, и в такой лампе разряд происходит в ксеноне; им наполняют лампу после того, как ее соберут и откачают из нее воздух.

Применение ксеноновых ламп в кино не только облегчило работу киномехаников, но и намного улучшило качество изображения на экране.

Свет этих ламп очень похож на солнечный, а это очень важно для получения на экране естественного, неискаженного изображения, особенно при демонстрации цветных фильмов. Такое выгодное излучение получается потому, что жгутик

плазмы, возникающий при дуговом разряде, имеет температуру восемь-девять тысяч градусов. Наконец, нельзя не отметить еще одно преимущество ксеноновых проекционных ламп: они при том же потреблении энергии отдают света значительно больше, чем угольные дуги.

Мы сейчас говорили о применении ксеноновых ламп в больших кинотеатрах. А как же обстоят дела в маленьких? Там можно обойтись и без плазмы.

В небольших кинотеатрах экран невелик и висит он не очень далеко от проектора. В таких проекторах, например, в узкопленочных, электрическую дугу, опасную в пожарном отношении, зажигать нет необходимости. Здесь неплохо справляется лампа накаливания, правда, более яркая, чем та, которую мы зажигаем у себя дома.

Лампы спорят об экономичности

Нашей стране нужны целые реки электроэнергии. Ежедневно вступают в строй новые промышленные предприятия, сдаются в эксплуатацию школы, больницы, кинотеатры, заселяются тысячи квартир жилых домов. И всюду, где появляются люди, сразу же начинается расходование электричества, которое всем так же необходимо, как и вода, пища, одежда.

Люди, занимающиеся тяжелой атлетикой, знают, что, если каждый день увеличивать поднимаемый вес, очень скоро наступит время, когда штанга перестанет покоряться и вес взят не будет. В энергетике происходит то же самое: нагрузка электростанций изо дня в день растет и это ложится новым грузом на плечи электрических генераторов.

У нас строится много новых электростанций, больше, чем в любом другом государстве. И все же электроэнергию приходится экономить, бороться за то, чтобы она впустую не расходовалась.

«Уходя, гасите свет» — этот призыв к экономии драгоценных, нужных народному хозяйству киловатт-часов видите вы всюду — в школе, в подъездах домов, на стенах в учреждениях.

Но люди, постигшие тайны плазмы, могут экономить и экономят электричество и другим способом. Речь идет об ученых-светотехниках, создающих плазменные источники освещения.

По какому признаку судят светотехники о выгодности, экономичности той или иной лампы? По световой отдаче или, иными словами, по величине потока света, рождаемого каждым ваттом электроэнергии, «съеденной» лампой.

Возьмем хорошо нам знакомую лампу накаливания в 40 ватт. Какова ее светоотдача? Десять люменов на ватт. Долгое время считалось это вполне приличной светоотдачей. Ведь это почти в пятьдесят раз больше, чем светоотдача керосиновой лампы!

Но вот специалисты стали измерять светоотдачу огненного жгутика дуги и обнаружили: плазма при том же «питании» рождает света больше, чем лампа накаливания. Она выгоднее! Лучше всего с этой стороны зарекомендовал себя разряд в парах ртути. Выгода была столь неоспоримой, что еще в 1937 году ртутными лампами попробовали осветить улицу Горького в Москве. И все же новые светильники вскоре пришлось снять: они горели зеленоватым светом, делали лица людей мертвенно-бледными, неестественными. Погнавшись за выгодой, светотехники не учли того, как «дешевый» свет будет восприниматься глазом, каким он обладает спектром, какими лучами он беден и какими богат.

Прошли годы, и дуговые ртутные лампы, или лампы ДРЛ, стали снова выпускаться промышленностью и освещать улицы наших городов. Исправить их «характер» помогли люминофоры, причем такие, которые «перерабатывают» часть световой энергии лампы в желтый и красный свет, то есть в те лучи, которыми беден спектр лампы. Происходит это так же, как и в газосветных трубках. Правда в ДРЛ основная масса лучей дуги вырывается из колбы без изменений, лишь часть их ударяется в люминофор и «перерабатывается» в желтый и красный свет.

И, хотя при этом неизбежны некоторые потери энергии, дуговая ртутная лампа отдает света почти в пять раз больше, чем лампа накаливания.

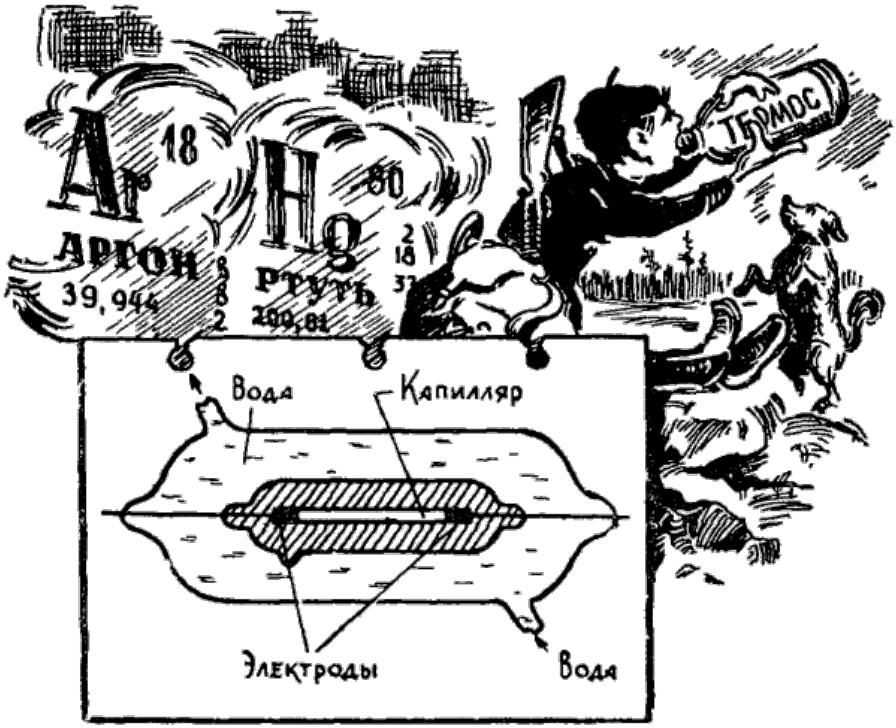
Таким образом, там, где приходилось устанавливать пять ламп накаливания, сейчас достаточно установить одну ДРЛ, и освещенность будет той же. Это позволяет экономить огромное количество электроэнергии!

В наши дни выпускается множество разных типов ртутных ламп. Они нашли себе место в проекционных аппаратах, в кинотехнике, вместо незащищенной дуги, способной привести к пожару, а также в целом ряде производств, где нужны особенно яркие источники света.

Здесь я расскажу только о так называемых лампах СВД — ртутных лампах сверхвысокого давления.

Вы, наверно, знаете, как устроен обыкновенный термос. Это стеклянная удлиненная банка с двойными стенками. Воздуха между стенками нет, он выкачан. Благодаря этому кофе, налитый в термос, долго остается горячим, двойные стенки неохотно пропускают тепло.

В лампе СВД — тоже двойные стенки. Для чего? Чтобы отгородиться от окружающего воздуха, температура которого, как у больного лихорадкой, прыгает то вверх, то вниз. А это нежелательно для паров ртути, давление их очень чувствительно к температуре стенок лампы.



На рисунке показан разрез мощной лампы СВД. В центре ее помещена толстостенная трубочка — капилляр из тугоплавкого кварцевого стекла. В трубочке — газ аргон и капля ртути. Когда на вольфрамовые электроды подается высокое напряжение, между электродами вспыхивает разряд. Пока это только разряд в аргоне. Плазма аргона для освещения не нужна, она, по существу, является «печкой», которая, нагревая всю трубочку, заставляет ртуть испаряться. Когда в трубочке ртуть превратится в пар, в ней вспыхивает дуговой разряд. При этом давление внутри разрядной трубки в мощных лампах СВД может достигать сотни атмосфер, а температура — нескольких тысяч градусов. Чтобы лампа не расплавилась, излишнее тепло отводится проточной водой, которая поступает по шлангу в стеклянную рубашку и омывает лампу.

Лампы СВД сравнительно небольшой мощности обходятся без водяного охлаждения.

Возможно, у вас возник вопрос: стоило ли «городить огород» из водяных рубашек, шлангов, применять особо прочное и тугоплавкое стекло? Не проще ли сделать так, чтобы давление в разрядной трубочке не поднималось до сотни атмосфер? Вопрос существенный и требует обстоятельного ответа.

Плазма дугового разряда обладает таким свойством: она тем ярче светится, тем больше отдает лучей, чем выше ее температура. А температура плазмы зависит от плотности тока.

Поэтому, если мы хотим извлечь из плазмы побольше света, нужно сделать так, чтобы плазма не расползалась по трубочке, а концентрировалась в тонкий жгут. Тогда плотность тока внутри плазменного жгута будет большой и светоотдача максимальной.

Высокое давление паров ртути и обеспечивает концентрацию массы плазмы в виде тонкого жгута. С точки зрения физики объяснить это нетрудно. При высоком давлении в разрядной трубке находится много молекул газа или паров. Этим молекулам тесно, поэтому разряд, возникнув, не охватывает всего объема газа, а развивается на одной «проторенной дорожке», то есть внутри шнура. Электроны в такой сутолоке разогнаться сильно не могут, и ионизация в основном происходит не за счет их ударов, а благодаря высокой температуре плазмы.

Таким образом, давление в разрядной трубке лампы СВД таким большим сделано специально. Именно оно и увеличивает яркость свечения плазмы.

В последние годы лампы СВД, предназначенные для освещения, стали наполнять одними инертными газами без паров ртути. Давление газа десять — пятнадцать атмосфер. Хотя эти лампы имели меньшую светоотдачу, нежели ртутные, но «качество» света получалось очень высоким. Если лампу СВД наполняли аргоном, ее свет имел слегка синеватый оттенок, если ксеноном — золотистый, когда же брали смесь неона с ксеноном, то лампа излучала розоватый свет.

Ксеноновые лампы, применяемые в кинотехнике, — это тоже лампы СВД. Их конструкция, как вы очевидно заметили, несколько отличается от конструкции ртутных ламп сверхвысокого давления: в проекционных лампах мощностью до трех киловатт охлаждение воздушное, а в пятикиловаттной разборной охлаждаются водой только электроды. Однако физические процессы в плазме и в тех и в других лампах одинаковы. Разряд в инертном газе при давлении в десятки атмосфер рождает много света, и свет этот почти не отличается от солнечного.

Теперь уточним, какой из плазменных источников света наиболее экономичен. Дуговая ртутная лампа? Или, может быть, дуговая лампа СВД, наполненная инертными газами? Нет ли какой-либо другой лампы, которая на каждый ватт, взятый из электрической сети, отдавала бы световых лучей больше других?

Оказывается, есть. Это натриевая лампа. Внешне эта лампа ничем не выделяется. Она имеет такой же ввинчивающийся цоколь, что и лампа накаливания. В удлиненном стеклянном баллоне с двойными стенками укреплена тоненькая трубочка. Она изогнута наподобие латинской буквы «U». В этой трубочке и

возникает яркая светящаяся плазма — вначале в неоне или гелии, а потом, когда трубка прогреется и натрий испарится, — в парах натрия.

Дуговой разряд натриевой лампы излучает яркий желтый свет. Если измерить это море лучей, то окажется, что на каждый ватт, потребленный лампой, их приходится почти в десять раз больше, чем у лампы накаливания, и в два раза больше, чем у дуговой ртутной лампы!

Правда, такую лампу в комнате устанавливать не следует: при ней невозможно будет различать цвета. Но экономичной натриевой лампе нашли место. Ее светом будут освещать загородные шоссе и магистрали.

Водители знают, сколько хлопот доставляет слепящий свет фар встречных машин. Если вдоль всей автострады установить натриевые лампы, то тогда можно будет ездить с незажженными фарами. Испытания показали, что однотонное желтое освещение очень удобно: благодаря резким теням шофер различает предметы на дороге отчетливее, чем при пользовании обычным электрическим светом.

Московский электроламповый завод начал серийный выпуск натриевых ламп с 1960 года.

Таким образом, фронт наступления плазмы на позиции лампы накаливания расширяется с каждым годом. Восемь десятков лет безраздельной власти привычного всем источника света кончились. Лампе накаливания приходится тесниться, уступать место свету плазмы на улицах и площадях городов, на аэродромах, в портах и на автострадах. А в домах? Неужели там, где мы проводим большую часть своего времени, для плазмы не нашлось места? Ответ на этот вопрос вы найдете, перевернув еще одну страницу этой книги.

Плазма и дневной свет

В магазине, над входом которого плазменной «кистью» сделана надпись «Электрические товары», всегда много покупателей. На полках — всякая всячина: провода, выключатели, розетки, батареи для фонарей и приемников, электрические утюги, вентиляторы и пылесосы. Много там также разных электрических ламп — от самых маленьких, величиной в полнаперстка, до самых больших, которые нужно брать обеими руками. Товары быстро переходят от продавцов к покупателям, и

рабочим магазина приходится то и дело приносить откуда-то увесистые ящики, доверху наполненные новыми богатствами.

В последние годы в таких магазинах все чаще и чаще можно услышать вопрос, с которым покупатели обращаются к продавцам:

— Лампы дневного света есть? Покажите, пожалуйста.

Продавец ставит на прилавок настольную лампу дневного света. Даже внешне эта лампа отличается от обычной: отражатель у нее не сферический, а удлиненный и под ним вместо баллона лампы длинная белая трубка. Когда же лампу включишь… впрочем, пока не буду об этом говорить, а расскажу вначале, какие недостатки дешевой и удобной лампы накаливания заставляют покупателей отказываться от нее и платить в несколько раз больше за лампу дневного света.

Об одном «узком» месте лампы накаливания мы уже говорили. Это малая светоотдача, а значит, и малая экономичность. Из всей электроэнергии, затрачиваемой на разогрев спирали лампы, лишь 2–2,5 процента превращается в свет. Остальные 98 процентов пропадают напрасно, они тратятся на нагревание воздуха и на невидимое ультрафиолетовое излучение.

Таким образом, с точки зрения к. п. д. лампа накаливания — далеко не совершенный прибор.

Есть у нее еще один существенный недостаток.

Задумывались ли вы, почему картина художника, ткани и различные предметы при обычном электрическом освещении выглядят иначе, чем днем? Красные, оранжевые и желтые цвета становятся заметнее, ярче, а синие тона бледнеют. Ответить на этот вопрос нетрудно, если заглянуть в спектральную «анкету» лампы накаливания. В этой «анкете» ясно сказано, что лампа накаливания щедро излучает красные, оранжевые и желтые лучи и очень скупится на синие.

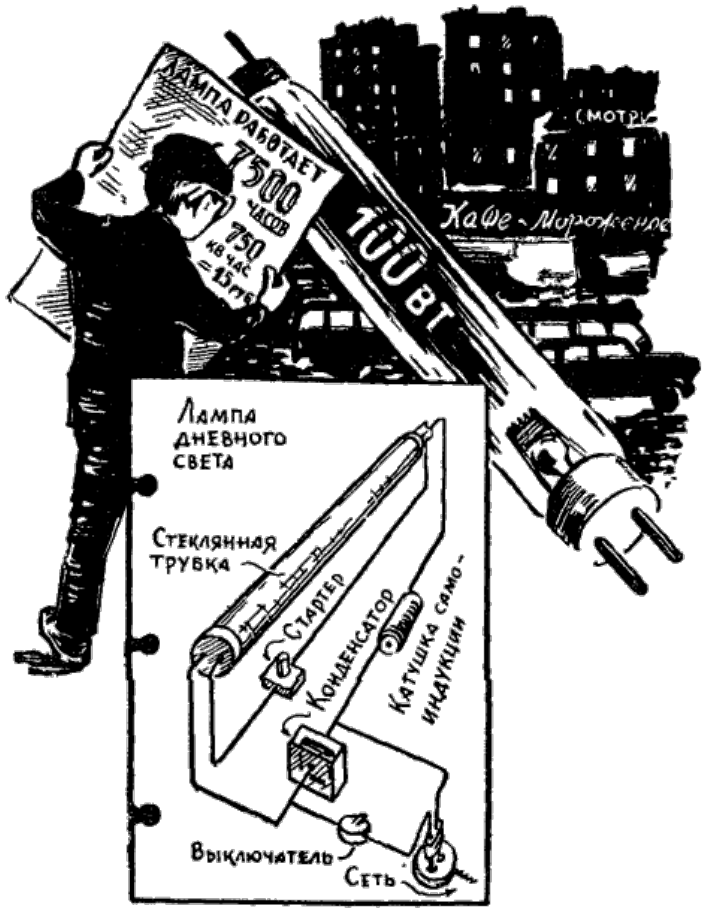
А ведь это влечет за собой и более серьезные неприятности, чем неверное восприятие цветов картины художника. В текстильном или в химическом производстве ночью невозможно сортировать ткани или материалы по цвету. Врач-хирург, обнаруживший во время операции опухоль, не может по цвету определить ее характер. Да мало ли где может подвести такой искаженный свет!

Инженеры-светотехники пробовали исправлять «продукцию» лампы накаливания. Они, например, делали колбу из подсиненного стекла, которое задерживало излишек красных лучей и свободно пропускало синие. Но эта «победа» стоила иного поражения: лампы освещали хуже и приходилось тратить

лишние киловатт-часы электроэнергии для питания дополнительных ламп.

Выйти из тупика снова помогла плазма. Но помогла особенным образом.

Ученые не стали ломать голову над тем, чтобы заставить плазму излучать свет, похожий на солнечный. Они взяли за основу экономичность и остановили свой выбор на электрическом разряде в парах ртути. Сам по себе этот разряд далек от совершенства — вспомните хотя бы попытку осветить улицу Горького дуговыми ртутными лампами! — но плазма этого разряда рождала другое сырье, без которого проблему дневного света решить нельзя. Когда в разрядной трубке давление паров ртути достигает лишь нескольких миллиметров, большую часть излучения такого разряда составляют ультрафиолетовые лучи. Они и являются тем «сырьем», без которого лампа работать не может.



В стеклянной трубке лампы дневного света плазма непрерывно рождает ультрафиолетовые лучи. Но лучи эти не

вырываются из лампы. Они ударяются в пленку белого вещества-люминофора, покрывающего тонким слоем внутреннюю поверхность трубки. А дальше все происходит, как в дуговой ртутной лампе, освещающей в наши дни многие улицы и площади городов.

Только в лампе дневного света люминофор имеет более сложный состав. Он не ограничивается излучением красных и желтых лучей, как в дуговой ртутной лампе, а излучает все лучи — от красного до фиолетового, — которые в смеси дают свет, очень похожий на дневной.

На первый взгляд все это кажется простым. Но это только кажется. Лампа дневного света — прибор, создать который стало возможным только при современной технике. Возьмем хотя бы люминофор. Эти мельчайшие крупинки в один — три микрона в диаметре включают в себя соединения магния, вольфрама, кальция, серы и других элементов. Для приготовления его используются вещества более чистые, чем для химического анализа. А как строги требования к излучению плазмы! Она должна иметь только определенный спектр. Сколько усилий приложили ученые, среди которых первым нужно назвать академика С. И. Вавилова, чтобы заставить люминофоры излучать рассеянный дневной свет!

Труд ученых не пропал даром. Сейчас каждый вечер зажигаются лампы дневного света всюду — в квартирах, читальных залах, школах, больницах, картинных галереях. Пришли они в цеха заводов и в угольные шахты, успешно применяются и для освещения улиц.

Видя эти светящиеся трубки, помогающие нам продлить день, мы теперь знаем, что внутри них неутомимо трудится вещество в четвертом состоянии — плазма.

«Сириус» — самая мощная лампа в мире

Эта лампа зажглась в дни исторического XXII съезда нашей партии, принявшего новую Программу КПСС — программу построения коммунизма в нашей стране. Эта лампа заняла свое место под куполом павильона «Машиностроение» на Выставке достижений народного хозяйства.

«Сириус» была создана на Московском электроламповом заводе под руководством И. С. Маршака, известного специалиста по плазменным источникам света. Название свое лампа получила

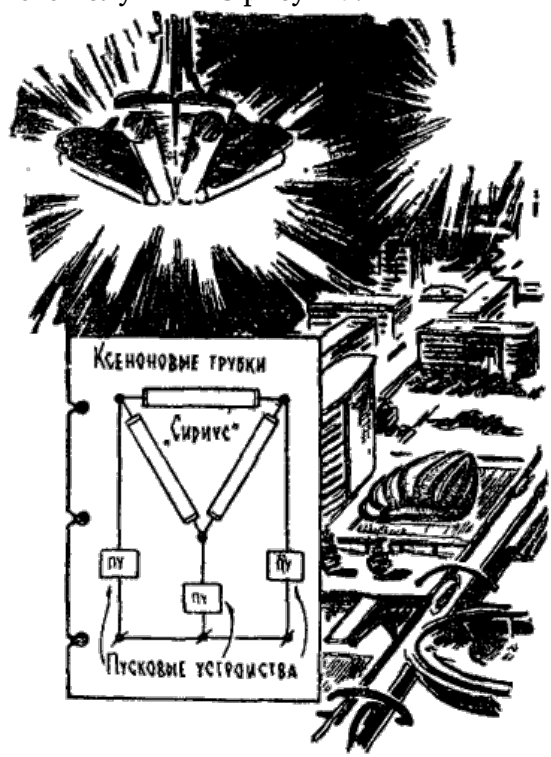
по имени самой яркой звезды в звездном небе.

Вначале приведу несколько цифр, которые дали бы возможность уяснить технические показатели этой лампы.

Гигант светотехники — «Сириус» — имеет мощность 300 киловатт. Лампа создает такой мощный поток света, что может расплавить алюминиевый лист, если его поднести к лампе сантиметров на двадцать. Если вы захотите свет «Сириуса» заменить светом обыкновенных 50-ваттных ламп накаливания, то таких ламп нужно включить 25 тысяч штук, при этом они будут потреблять не 300, а 1250 киловатт электрической мощности. Следовательно, плазменная лампа «Сириус» в четыре раза экономичнее ламп накаливания.

Как устроена и как работает эта удивительная лампа?

Если вы не сумеете побывать на ВДНХ, то представление о лампе вы можете получить из рисунка.



Три разрядные кварцевые трубки длиной около метра каждая в виде веера подвешены в специальной арматуре. К торцам трубок, к их электродам, подходят толстые провода. По ним во время работы лампы течет ток в несколько сот ампер. Трубки наполнены ксеноном. Каждая из трех трубок потребляет мощность в 100 киловатт — это очень большая мощность, способная погубить трубки, если их не охладить.

«Сириус» охлаждается водой, причем, чтобы не получался

непрозрачный налет на стенках, воду берут дистиллированную. Стенки разрядных трубок сделаны двойными, и вода, проходя между этими стенками, отводит излишнее тепло. Если циркуляция воды прекратится, автоматическое устройство выключит лампу.

Эта мощная лампа питается от сети трехфазного переменного тока напряжением всего 380 вольт. Естественно, такого напряжения недостаточно для того, чтобы зажечь разряд в трубках. Для зажигания разряда было сконструировано специальное пусковое устройство, уникальное по своей схеме. Высоковольтный трансформатор этого устройства создает напряжение в 20 тысяч вольт. Оно подается в виде отдельных импульсов на специальный поджигающий электрод, расположенный вблизи разрядной трубки. Соседство разрядной трубки и поджигающего электрода для ксенона, запертого в трубке, не остается без последствий: ксенон сильно ионизируется. Все это происходит в течение одной секунды, а затем пусковое устройство автоматически отключается, а на электроды трубки подается нормальное напряжение сети. Лампа вспыхивает ярким светом, рожденным жгутом плазмы. В центре этого жгута температура достигает восьми тысяч градусов — больше, чем на поверхности Солнца!

Одно из достоинств «Сириуса» — это высокая экономичность лампы. Есть у этой лампы и другой плюс: качество света. Спектр «Сириуса» очень похож на солнечный, поэтому можно вполне назвать эту лампу искусственным солнцем. При свете ее лучей мы видим предметы такими, какими они нам кажутся при естественном освещении.

Специалисты светотехники восхищаются «Сириусом» не только потому, что эта лампа имеет огромную мощность. Другая ее замечательная особенность состоит в том, что в сеть лампа включается напрямую, без балластного сопротивления.

Раньше считалось, что последовательно с любой газоразрядной лампой нужно включать катушку индуктивности, намотанную на железном сердечнике. Эта катушка и является балластом. Для чего он нужен?

Ответ на этот вопрос один — чтобы не дать погибнуть трубке.

С началом разряда в любой трубке ток растет лавинообразно. Электроды, принимая все большее и большее число зарядов, разогреваются, а от них разогревается стекло, и может наступить момент, когда трубка выйдет из строя. Катушка индуктивности, через которую проходит весь ток, играет роль регулировщика: она не дает току увеличиться до недопустимых пределов. С ростом тока на ней падает большая часть сетевого напряжения, а на

самой лампе соответственно напряжение уменьшается. Это и ограничивает ток через разрядную трубку.

Вы узнали о различных газоразрядных лампах: о лампах дневного света, лампах ДРЛ, СВД и других. Все они могут нормально работать только с балластом. Даже крохотные сигнальные люминесцентные лампы включаются в сеть с балластным сопротивлением, пусть маломощным. Но любое балластное сопротивление, большое оно или маленькое, потребляет энергию, расходует драгоценные ватты мощности, которые светотехники с удовольствием превратили бы в свет. Хотели бы, да не могут, потому что без балласта наступает гибель лампы.

Всегда ли? Этот вопрос решил проверить сотрудник лаборатории Московского электролампового завода, лауреат Государственной премии И. С. Маршак.

Ученый изучал поведение плазмы при пропускании импульсов тока через ксенон, заключенный в тоненькие подковообразные трубочки. Плазма в этих трубочках вспыхивала на мгновение и сразу же гасла. Ток в ней существовал доли секунды. И. С. Маршак стал все больше и больше увеличивать импульсы этого тока. К своему удивлению, он обнаружил, что, достигнув какого-то предела, ток через трубку больше не хотел увеличиваться. В чем дело? Почему лавина зарядов больше не меняется?

Оказалось, весь секрет заключался в самой плазме. Вы, очевидно, помните, что при возникновении плазмы в трубке появляется большое количество положительно заряженных ионов. Они-то и не дают увеличиваться лавине электронов.

Несмотря на то что в трубке еще имеется огромное число нейтральных атомов, движущиеся к аноду электроны чаще сталкиваются с плюс-ионами, чем с нейтральными атомами. Почему? Потому, что электрон и положительный ион имеют противоположные заряды и между ними существуют силы взаимного притяжения. Положительные ионы как бы заслоняют собой нейтральные атомы и не дают электронам с ними сталкиваться.

Такой режим разряда ученые назвали квазистационарным, то есть как бы стационарным; при нем протекание тока через трубку похоже на ток по обыкновенному металлическому проводнику.

Почему же такой режим не наблюдался в других случаях? Может быть, не стоило для укрощения тока через трубку ставить балластное сопротивление? Нет, это не так.

Плазма очень капризна, и квазистационарный режим в ней возникает при определенных условиях. Эти условия зависят и от

газа, наполняющего трубку, и от размеров трубки, и от целого ряда других причин. Получив такой режим при импульсных, прерывистых разрядах, И. С. Маршак с сотрудниками еще немало потрудился над тем, чтобы добиться того же при постоянном протекании тока через трубку. Сделать это удалось после того, как была разработана теория квазистационарного разряда.

Многолетняя работа, в течение которой были проведены сотни опытов и сделан целый ряд теоретических изысканий, не пропала даром: в заводской лаборатории была изготовлена первая в мире газоразрядная лампа, которая могла работать без балласта, при прямом включении в сеть. Ее рассчитывали примерно так же, как рассчитывают спираль лампы накаливания, — ведь плазма в квазистационарном режиме подчиняется закону Ома!

Первые испытания — они проводились в 1959 году — прошли успешно. А в следующем году двадцатикиловаттная безбалластная ксеноновая лампа зажглась на Советской площади по соседству с Моссоветом. Позднее ксеноновые солнца вспыхнули в парке Сокольники, на Комсомольской площади, на Выставке новой строительной техники, перед Дворцом съездов. Это были предшественники «Сириуса» — лампы, равной которой нет в мире.

Триумфальное шествие новых ламп только начинается. Недалеко то время, когда ксеноновые безбалластные лампы станут освещать целые железнодорожные узлы, огромные строительные площадки, открытые разработки месторождений и даже теплицы в северных широтах. Их успешно можно применять для освещения городов. Поднятые на высоту, эти лампы заменят солнце и преобразят архитектуру города. Бесчисленные опоры для уличных фонарей окажутся ненужными — весь город будет освещаться одной или несколькими ксеноновыми лампами.

Мечта? Да, но вполне реальная. Создатель «Сириуса» И. С. Маршак говорит, что уже сейчас можно сделать лампу мощностью в пятьсот киловатт. А такой лампы, если ее установить на высокой башне или поднять на аэростате, вполне достаточно, чтобы осветить небольшой город.

Проба? Нет! Точный анализ!

…Геологи вернулись из экспедиции. Привезли с собой много деревянных ящичков. В них — образцы пород, с которыми

встретились неутомимые разведчики недр. Какие богатства заключены в этих образцах, геологи знают, но знают примерно, не точно. Только лабораторный анализ может дать ответ, сколько и какие именно элементы притаились в этих невзрачных на вид камнях, глине, песке.

Когда химики, поколдовав вдоволь над пробирками, ретортами, весами, определят составы исследуемых пород, работу законченной считать нельзя. Без ответа остался вопрос: нет ли в образцах других элементов, которых не заметили химики?

— Подвергнуть спектральному анализу! — следует распоряжение, и после его выполнения последний неясный вопрос получает ответ.

…Металлурги выполнили важный и сложный заказ. В небольшой электрической печи они приготовили металл, совершенно лишенный примесей. Он нужен для изготовления полупроводниковых элементов.

Как проверить, что цель достигнута и металл получился таким, какой нужен заводу-заказчику? Произвести химический анализ? Да. Но этого недостаточно.

— Подвергнуть спектральному анализу! — принимается решение, и металл отправляется дальше по трудной дороге испытаний.

…На электроламповом заводе изготовили лампу-чудесницу. Расчеты показывают, что эта лампа — новый шаг в светотехнике. Но так ли это в действительности? Решать этот вопрос на глаз — дело ненадежное. Выход только один: провести исследование спектра! Если и этот барьер лампа преодолеет успешно, дорога в жизнь ей обеспечена.

Подобных примеров, которые подтверждали бы могущество спектрального анализа, можно привести немало. Сейчас помощь плазменных спектров увеличилась еще больше. И дело с ними имеют не только ученые-физики, но и инженеры, техники, лаборанты на сотнях самых различных предприятий.

Посмотрим, как спектральный анализ помог ответить на эти неясные вопросы.

Чтобы вещество, в том числе образец горной породы, подало свой световой «голос», его нужно превратить в плазму. Как это сделать? Можно, например, поместить несколько крупинок этого вещества в жаркое пламя электрической дуги. И эффект получится такой же, как некогда у Бунзена с Кирхгофом, помещавших исследуемые вещества в пламя газовой горелки. Лучи плазмы, пройдя через сложную систему линз и призм, начертят на матовом экране «фотопортрет» — спектр. Опытный глаз исследователя различит на этом «портрете» цветные линии и

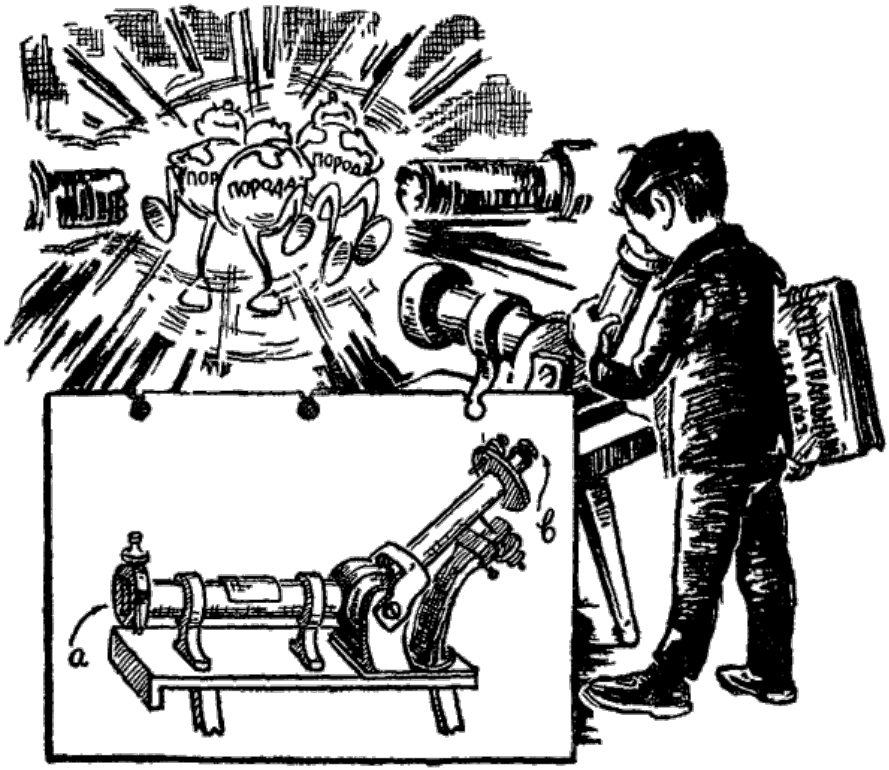
полосы, которые принадлежат газу, где протекает разряд, а также линии электродов, между которыми зажжена дуга. Исследователь обнаружит и ту «добавку», которую создало изучаемое вещество. Именно эта «добавка» и представляет интерес.

Если изучается материал, являющийся хорошим проводником, то можно поступить проще: сделать из него электроды и зажечь между ними дуговой разряд. Молекулы раскаленного электрода обязательно попадут в плазму и дадут свои линии в спектре. И если в металле-электроде есть хотя бы ничтожная доля посторонних примесей, они тотчас просигналят о своем присутствии.

Там, где отступают самые точные методы химического анализа, спектроскоп выходит победителем. Он обнаруживает примеси веществ даже тогда, когда их ничтожно мало — миллиардные доли грамма!

А теперь поприсутствуем на спектральных испытаниях ламп и светящихся трубок.

В любой современной лаборатории есть немало приборов, которые занимаются расшифровкой световых лучей. Вот, например, прибор, названный составным словом: «спектрофотометр». Он позволяет не только рассмотреть, какие лучи испускает плазма, но и измерить, с какой силой светит каждый из них.



На рисунке показан внешний вид этого прибора: по сути дела в спектрофотометре совмещены два спектроскопа. Один из них создает цветные линии от испытуемой газосветной трубки или лампы, другой — от эталона — стандартного источника света, с которым сравнивается наш источник света. Лучи попадают в прибор слева — через две щели в пластинке «а», прикрывающей вход в спектрофотометр. Наблюдают спектр через окуляр «в».

В лаборатории есть целый набор стандартных ламп. Их называют спектральными. Когда их подключают к электрической сети, то заключенные внутри них газы или пары металлов начинают светиться. Чаще всего наполнителями служат инертные газы или хорошо очищенные металлы — натрий, цинк, ртуть, кадмий и др.

Лучи света от спектральной лампы и от исследуемого источника идут через одни и те же стекла — линзы и стекла — призмы. Но эти стекла так устроены и так размещены внутри прибора, что световые сигналы не смешиваются: в окуляр спектрофотометра видны два спектра, расположенных один над другим.

Хорошему специалисту достаточно взглянуть в окуляр спектрофотометра, чтобы сразу оценить достоинства и недостатки испытуемой трубки. А это — прямой путь к доводке и

совершенствованию источника света.

Приборы спектрального анализа помогли ученым и конструкторам ответить на тысячи «как» и «почему». Благодаря этим приборам удалось узнать, из чего состоят солнце, звезды, туманности. Они позволили разобраться в кажущемся хаосе микромира плазмы. Температура плазмы разных видов разряда, число заряженных и незаряженных частиц, число возбужденных атомов и молекул, излучающих свет, переход одних стадий разряда в другие — вот далеко не полный перечень вопросов и проблем, разрешенных с помощью спектрального анализа.

Спектры во времена Бунзена и Кирхгофа были только пробой веществ на их качественный состав. Усилия ученых превратили их в наше время в незаменимое средство точного количественного анализа.

Солнце на мгновение

Если среди вас есть фотолюбители, то они знают, как трудно получить хороший снимок в сумерках или при съемке в плохо освещенной комнате. Ночью снимать невозможно.

Долгое время фотографы-профессионалы пользовались магнием. Но это было неудобное средство освещения, требовавшее к тому же известного навыка.

А сейчас можно прийти в магазин, купить прибор с понятным для всех названием «фотовспышка» и фотографировать в любое время. Нажать на кнопку затвора фотоаппарата, яркая вспышка света — и снимок готов. Теперь уже не нужно заботиться о запасах магния: после сотни снимков достаточно вынуть старые батарейки от карманного фонаря, вставить новые — и все можно начинать сначала. А если снимать приходится в комнате, то и батарейки не нужны. Достаточно вставить штепсельную вилку прибора в обычную электрическую розетку, и «фотовспышка» начнет работать от сети.

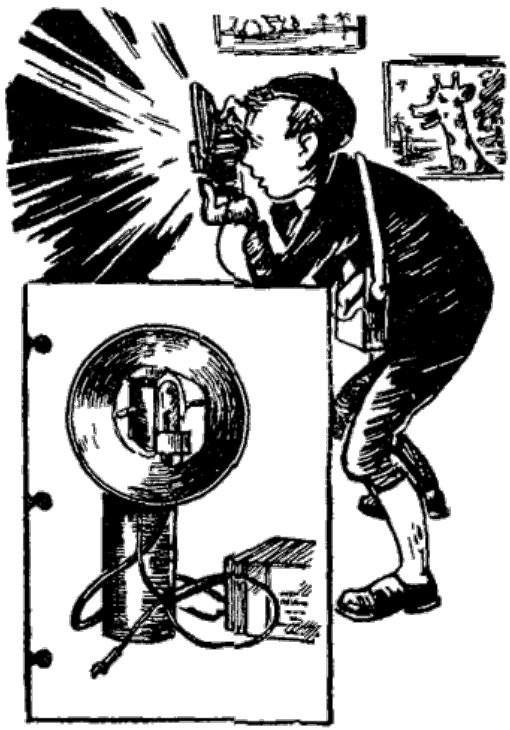
Что можно назвать главным «действующим лицом» в этом небольшом приборе, позволяющем фотографировать в любое время суток и в любом месте, даже во взрывоопасных помещениях?

Вы наверное угадали? Плазму. Она на мгновение рождается в маленькой подковообразной трубочке, укрепленной в центре пристроенного к фотоаппарату рефлектора.

Как это происходит?

Чтобы плазма возникла, нужна энергия. Вы уже знаете, что для фотовспышки энергия берется от батарей или из электрической сети. Кроме того, есть и кладовая электрических зарядов — накопительный конденсатор. Емкость его изрядная — восемьсот микрофарад. Когда конденсатор зарядится до трехсот вольт — для этого нужно всего несколько секунд, — можно делать снимок.

Конденсатор подключен напрямую к подковообразной стеклянной трубочке, наполненной ксеноном. Это место рождения плазмы. Но пока мы не захотим, плазма в трубочке не возникает. Триста вольт — напряжение немалое, но «пробить» разрядный промежуток без посторонней помощи оно не может: малы электрические силы.



Эта «посторонняя помощь» приходит тогда, когда вы нажмете кнопку затвора фотоаппарата. В это мгновение специальное устройство — импульсный трансформатор — «выдаст» импульс высокого напряжения величиной около десяти киловольт на поджигающий электрод, смонтированный вблизи разрядной трубки-подковы. Поджигающий электрод своим электрическим полем ионизирует ксенон в трубке-подкове, и в ней вспыхивает яркий разряд. Накопительный конденсатор мгновенно опорожнит свои «кладовые» от зарядов. Плазма в импульсной лампе «живет» всего пятисотую долю секунды. Этого времени достаточно, чтобы

фотопленка запечатлела все, что «увидит» объектив фотоаппарата.

Фотовспышка, превращающая на мгновение ночь в день, стала верным спутником не только фотографов-профессионалов, но и фотолюбителей. Ее сравнительно легко сделать самому, если есть импульсная лампа-подкова и накопительный конденсатор.

Способность плазмы быстро создавать яркий поток света нашла широкое применение в науке и технике.

Во многих физических лабораториях есть сложные приборы для наблюдения за полетом космических и других заряженных частиц. По имени изобретателя их называют камерами Вильсона. Камера заполняется парами воды. Когда в камеру влетает заряженная частица, она на своем пути ионизирует молекулы газа. На «родившихся» ионах собираются мельчайшие капельки тумана. Как лыжник, скатившийся с горы, оставляет за собой след, так и заряженная частица обнаруживается по хвосту из мельчайших капелек тумана. Ученые знают, что если в камеру Вильсона влетит электрон, то он оставит за собой очень тонкий след. За протоном — ядром атома водорода — хвост из частиц тумана будет потолще, за альфа-частицами — еще толще. Самые заметные следы оставляют осколки атомных ядер.

Каждая камера Вильсона снабжена автоматическим фотоаппаратом, который добросовестно фиксирует следы заряженных частиц. Но любой фотоаппарат слеп, если объект съемки не освещен. Как освещается внутренность камеры Вильсона?

В момент съемки в импульсной лампе проскакивает искра, которая на мгновение делает видимыми дорожки из паров воды, созданные заряженными частицами.

Многие знают, что для составления карт сейчас широко пользуются аэрофотосъемкой. Это — фотографирование местности с самолета. Лучше всего такую работу делать в яркий солнечный день. Но как же быть тем, кто работает в Заполярье, где ночь длится несколько месяцев? Сидеть и ждать у моря погоды? Нет! — говорит плазма. Она и здесь готова помочь.

Самолет, производящий съемку, снабжен мощными импульсными лампами. Летит такой самолет, и экипажу нет заботы о погоде или времени суток. Импульсные лампы не подведут, они то и дело посылают на землю мощные потоки света. Вспышка — кадр, вторая вспышка — новый кадр.

Можно еще долго рассказывать о применении плазменных источников света, заменяющих солнце на короткие промежутки времени. Одни из них помогают изучать движущиеся части машин и механизмов, другие служат для измерения расстояний

на земной поверхности, третьи позволяют сфотографировать такие «неуловимые» моменты, как, например, попадание пули в цель.

Где бы ни применялась плазма — источник света, везде она проявляет себя с самой лучшей стороны.

Глава VI
Электрический гефест сегодня

Ткань — металл, портной — плазма

Приглядитесь к предметам, которые окружают вас. Обратите внимание на то, как соединены между собой металлические детали этих предметов.

Вот железная кружка. Ее ручка прочно держится сбоку, хотя и сделана она из отдельного куска железа. Рядом — чайник. Его части тоже «склеены» друг с другом. На стене дома укреплена пожарная лестница. Ее детали прочно соединены между собой. Можно не сомневаться: лестница выдержит хоть целое отделение пожарников!

Вы, очевидно, догадались, какой «портной» так прочно «сшивает» металлические детали: электросварка.

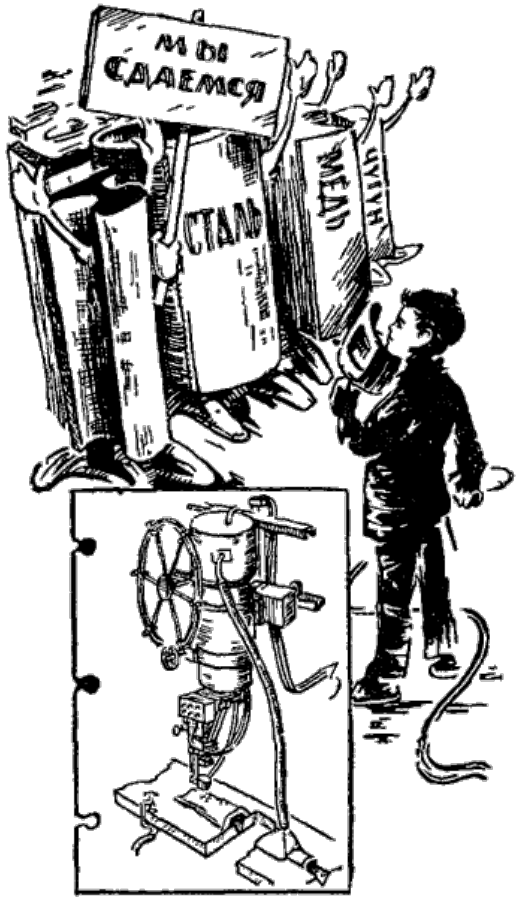
А что такое электросварка? Это электрическая дуга, плазма. Вы уже знаете, как была открыта дуга и какую помощь на первых порах она оказывала людям. Посмотрим, как жаркое пламя дуги работает в наши дни.

Никогда прежде не требовалось столько сварочных работ, как в наше время. XXI съезд КПСС, принявший семилетний план развития народного хозяйства СССР, потребовал еще шире применять сварные конструкции, заменять ими клепаные и другие соединения. Это указание успешно выполняется.

В распоряжении людей имеется целое семейство сварочных машин. Одни из них по устройству просты, напоминают «Электрогефест» Бенардоса, другие — очень сложные, работающие с точностью часового механизма.

Мы — в цехе большого машиностроительного завода. Здесь трудится несколько умных машин — сварочных автоматов.

На длинном столе аккуратно уложены детали, которые нужно сварить. Над ними ползет сварочный автомат, напоминающий большую электродрель. Там, где ложится шов сварки, бушует яркое пламя дуги. В это пламя непрерывно сыплется порошок — флюс, он улучшает качество шва, делает его прочным. Специальное устройство автоматически «кормит» дугу проволокой-электродом, который, расплавляясь, соединяет детали.



Автомат обладает безошибочным «зрением». Он сам определяет плохо проваренные листы и немедленно реагирует на это. Как это ему удается?

Проволока-электрод поступает к месту, где образовалась дуга, с постоянной скоростью. Сам же автомат может двигаться то быстрей, то медленней. Предположим, автомат забежал вперед, а шов еще не готов. Пламя дуги растянулось, оно стало длиннее. Раз так, значит, и напряжение на дуге увеличилось. Мотор, который катит автомат вдоль шва, тотчас среагирует на это увеличение напряжения. Он уменьшит свои обороты, затормозит автомат. Когда же шов заполнится расплавленным металлом, дуга укоротится, и мотор снова начнет работать быстрее.

Автоматы-сварщики сейчас применяются всюду — при сварке корпусов морских и речных судов, металлических каркасов высотных зданий, огромных цистерн, толстых труб, балок и т. д. Чтобы угнаться за одним таким автоматом, нужно поставить не менее десяти квалифицированных сварщиков!

Электрической дуге стало тесно на земле, и она спустилась в подводное царство. Здесь ей сразу нашлась уйма дел.

Получил корабль пробоину — сварщик-подводник вмиг приварит заплату. Ремонт производится прямо в порту, корабль не нужно буксировать в док и ставить на длительный ремонт.

Много хлопот раньше доставлял ремонт портовых сооружений, разъедаемых морской водой. И эту работу с успехом выполнят сварщики-подводники.

Главная заслуга в «водворении» плазмы под воду принадлежит профессору К. К. Хренову. Много часов провел он под водой, прежде чем удалось справиться с капризами плазмы. Профессор Хренов создал особую тугоплавкую обмазку для электродов. В пламени плазмы она плавится позднее, чем металл электрода. Благодаря этому на конце электрода всегда имеется капля обмазки, на которой повисает газовый пузырь. Внутри этого пузыря плазма чувствует себя как дома и успешно справляется с любой работой, которую ей предлагают. И хотя вокруг пузыря бурлит вода, дуга в нем горит устойчиво.

Здесь мы рассмотрели примеры «портновских» способностей дуги. Но хороший портной должен и умело кроить. Плазма великолепно справляется и с такой работой.

Вам, очевидно, приходилось видеть, как действует сварщик, если нужно, например, отрезать кусок железной трубы. Он увеличивает напряжение, создающее дугу, и мощным пламенем дуги расплавляет металл. Проходит минута-другая, и конец трубы отваливается. Это непроизводительный способ резки! Слишком много тратится электроэнергии, и к тому же разрез получается неровным.

На предприятиях, где разрезать металлические листы и трубы приходится часто, резку делают иначе. Электрической дуге дают помощника — кислород. Он подается по шлангу и обрушивается на раскаленный докрасна металл. Что происходит при этом? Железо, сталь, например, начинают гореть, окисляться.

А окислы — вещь непрочная. Толстая труба или лист железа разваливаются на две части.

Может быть, ни к чему мудрить с плазмой, когда можно разрезать металлы пламенем газовой горелки? К тому же имеются целые наборы газовых резаков!

Верно. Газовая резка металлов широко применяется в наши дни. Но она хороша для резки железа, стали, марганца. Электрическая же дуга одинаково хорошо режет и сталь, и чугун, и цветные металлы.

Перед плазмой сдается любой металл.

Печи, которые «топят» плазмой

Было время, когда электродуговые печи называли чудом двадцатого века. Но прошли годы, и новые чудеса появились на земле, а электродуговая печь заняла свое скромное место в ряду помощниц человека, добросовестно выполняющих порученную работу. Но и сегодня вызывает восхищение эта «вагранка в кармане», для пуска которой нужно только включить один рубильник.

На рисунке показано устройство электродуговой печи. По сути дела такая печь — это большой бак из огнеупорного материала. В нижней части — металл, который нужно расплавить. Над ним бушует жаркое пламя дуги. Дуга возникает между двумя толстыми угольными электродами, торчащими с двух сторон из стенок печи. Целую реку электричества забирает печь из сети, но работа, которую она выполняет, окупается с лихвой.

Каждый из вас знает, что такое бронза, — это материал, «освоенный» людьми раньше, чем железо. Сплав меди и олова, имеющий очень широкое применение в технике. Сейчас его

делают в электродуговых печах.

А как возвращают жизнь отслужившему свой век металлу с прозаичным названием металлолом? Его переплавляют в мартеновских и электродуговых печах.

Плазма дуги с успехом применяется и для улучшения свойств уже готового металла. Предположим, получили в вагранке готовый чугун. Его перед пуском в дело подогревают в электропечи и улучшают его механические свойства. Такой чугун, превратившись в шестерни, цепи, краны и другие детали, становится более прочным.

Есть металл, производство которого теснейшими узами связано с электрической дугой. Это алюминий — «крылатый» металл, ставший за последние полвека одним из наиболее распространенных.

Заглянем внутрь плавильной печи. Дно ее выстлано углем. Сделано это не случайно. Уголь — хороший проводник тока, и в печи для выплавки алюминия дно выполняет роль отрицательного электрода. Над днищем висят толстые стержни, тоже угольные. Они соединены с положительным полюсом электрического генератора.

Вначале в печь загружают криолит — красноватый минерал со стеклянным блеском. В его состав входят натрий, алюминий и фтор. Когда между днищем печи и угольными стержнями вспыхнет дуга, криолит плавится. Теперь в печь засыпают глинозем — сырье, из которого получают алюминий. В природе его очень много.

Глинозем, попав в расплавленный криолит, растворяется в нем. Начинается новый этап производства. Угольные стержни впускают в расплавленную массу на большую глубину. Дуга гаснет. Она сделала свое дело. В печи теперь идет электролиз — процесс, во время которого положительные ионы алюминия движутся к катоду — дну ванны и отлагаются там. Ионы кислорода, несущие отрицательный заряд, собираются на угольных электродах и окисляют уголь, постепенно сжигают его.

Когда в печи скопится много алюминия, открывают кран, и сверкающий белизной металл выливается наружу.

Просто, не правда ли? Однако эта «простота» — результат упорной работы большого числа ученых и инженеров, в том числе и русских.

Может возникнуть вопрос, почему «плазменные» печи получили такое широкое применение в металлургии? В основном — это возможность получать металлы и сплавы высокого качества. В плазме дуги нет посторонних газообразных примесей, которые есть в любом другом пламени и которые «загрязняют»

металл, соединяются с ним.

Но главным плюсом является высокая температура, которую может создавать дуга, а это очень важно для получения не только алюминия, но и для производства особых сортов стали.

Вы сели в автобус. Мощный мотор резво мчит машину-махину по улицам и проспектам. Если вы знакомы с техникой, то можете представить себе, какие большие усилия выдерживает коленчатый вал мотора, как трудно приходится поршневым пальцам, связывающим воедино поршни и шатуны. Каждый метр пути сопровождается то сильными, то слабыми толчками, и все они отзываются на каком-либо шариковом или роликовом подшипнике, которых в машине имеется десятки. Но все детали держатся стойко, им не страшны большие нагрузки.

А ведь такими они стали не без помощи плазмы. Коленчатые валы, поршневые пальцы, шарики и ролики подшипников и сотни других деталей делаются из специальной стали — легированной. От обычной она отличается тем, что имеет те или иные добавки: хром, никель, вольфрам, ванадий. Коленчатые валы, например, делаются из хромоникелевой стали. Резцы из быстрорежущей стали имеют в своем составе ванадий, вольфрам, хром.

Металлурги, как и фармацевты при изготовлении лекарств, должны точно выдержать состав легированной стали в зависимости от того, что из нее будут делать. Добиться этого удается только в электродуговых печах, где можно получить нужную температуру, не боясь при этом, что раскаленная плазма испортит сплав.

Как видите, совершенство современных машин находится в прямой зависимости от плазмы.

Плазменный брандспойт

Итак, высокая температура внутри электродуговой печи — это большой плюс, которым немедленно воспользовались металлурги. Какова же температура электрической дуги?

Пять тысяч градусов — такую температуру отметит термометр, если вы поместите его в электродуговую печь. Конечно, термометр этот должен быть особенным, иначе он при такой жаре вмиг расплавится.

Но людей техники не смущают четырехзначные числа. Они хотят состязаться с Солнцем и превзойти его. Ведь температура в электродуговой печи на какие-то пятьсот — семьсот градусов

меньше, чем на поверхности Солнца.

Но прежде чем рассказывать о том, как удается достичь такой температуры, вспомним, как искровой разряд мы превращали в дуговой. Для этого мы увеличивали электрические силы в пространстве между электродами, прибавляли напряжение, приложенное к ним. При этом электроны ускоряли свой бег к аноду, сильнее ионизировали газ. Из недр анода вырывались тяжелые положительные ионы. Число заряженных частиц сильно возрастало, и отдельные искры сливались в яркий жгут, образуя дугу.

Температура обыкновенной электрической дуги в воздухе — три с половиной — четыре тысячи градусов. Она так высока потому, что в плазме часты соударения тяжелых заряженных частиц — ионов — между собой и с нейтральными молекулами газа.

Получив дуговой разряд, попробуем поднять температуру плазмы. Для этого увеличим электрические силы, прибавим напряжение.

Температура плазмы дуги немного повысится. Ее можно довести до пяти тысяч градусов. И только. Дальнейшая прибавка напряжения не даст желаемого результата: ток растет, а температура увеличиваться не хочет.

В чем дело? На что расходуются электрические силы? Не пропадает же энергия бесследно!

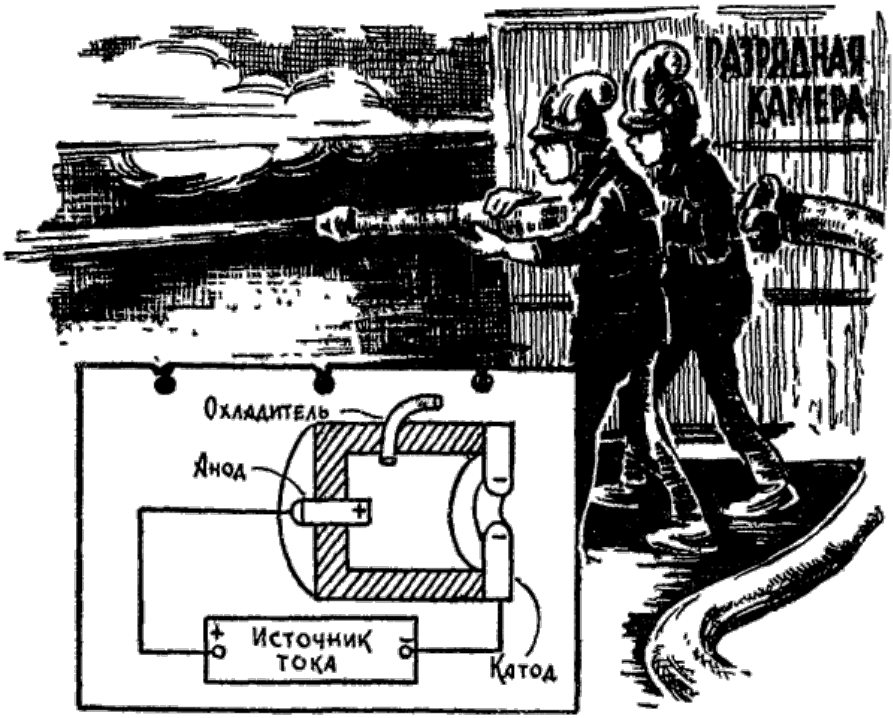
Верно, не пропадает. Она тратится на увеличение в разрядном промежутке количества плазмы и излучается в виде квантов света. Дуга становится толще и ярче. Но не более горячей!

Ученые долго ломали голову: как быть? И наконец нашли выход, решили и эту нелегкую задачу.

Методов повышения температуры плазмы предложено немало.

Сейчас познакомимся с одной весьма оригинальной установкой, которая нагревает воздух до десяти — пятнадцати тысяч градусов.

Разрез установки показан на рисунке (стр. 114).



Когда смотришь на эту «машину» в действии, так и хочется назвать ее — плазменный брандспойт.

Многим, конечно, приходилось видеть, как бьет струя воды из брандспойта — необходимой принадлежности любой пожарной команды.

Установка, о которой я говорю, тоже выбрасывает струю, но не воды, а плазмы. Эта струя так горяча, что сметает все на своем пути: ни один металл или сплав не может устоять перед ней.

Наш плазменный «брандспойт» — это обыкновенная разрядная камера. В ней, как и полагается, есть два электрода. Один из них — знакомый нам угольный стержень. Он соединен с плюсом источника тока. Второй электрод — отрицательный — угольная пластинка с отверстием — «окошком» — в центре. Через это «окошко» и вырывается наружу огненный язык плазмы.

Вся камера и особенно угольная пластинка, через которую выбрасывается плазма, тотчас бы расплавились, если бы не было охлаждения. В камеру по касательной врывается струя воды или инертного газа, которая, испаряясь, охлаждает стенки и спасает их от гибели. Но охладитель делает еще одно важное дело. Он помогает… поднять температуру плазмы. Да, да, холодная вода заставляет плазму разогреваться сильнее. Парадокс?

Нет!

Струя воды, попав в камеру, охлаждает не только ее стенки, но и внешние слои плазменного шнура. От этого ионов в этой

части плазмы становится меньше и наружные слои начинают хуже пропускать ток.

Разрядный ток поэтому концентрируется, в основном, в центральной, более горячей части плазмы. Частота столкновения частиц газа, а значит, и температура плазмы в «сердцевине» увеличивается.

Происходит так называемое первое термическое сужение. Но это не все: за первым термическим сужением наступает второе.

Еще Фарадей заметил, что два проводника с током притягиваются друг к другу, если ток в них течет в одну и ту же сторону. Причина — взаимодействие магнитных полей, окружающих каждый проводник.

Движущиеся электрические заряды в тонком шнуре дуги можно представить как большое количество проводников с током. Когда произошло первое термическое сужение, эти «проводники» оказались тесно прижатыми друг к другу. Явление, открытое Фарадеем, сказывается на них теперь более заметно — шнур плазмы сжимается еще больше. А это ведет к новому прыжку температуры.

Электромагнитные силы, возникающие в разрядной камере, выталкивают плазму подобно тому, как водяной насос пожарной машины выбрасывает сильную струю воды из брандспойта.

Теперь можно заставить эту струю плазмы работать.

А дел для нее есть немало.

Мы уже говорили о кислородно-дуговой резке металлов. При этом способе дуга нагревает докрасна металл, а струя кислорода, окисляя, режет его.

Оказывается, плазменный брандспойт лучше справляется с такой работой. Температура струи плазмы столь высока, что ни предварительного нагрева металла, ни запаса кислорода не нужно. Сталь сама мгновенно плавится, легко уступает натиску плазмы. Огненный нож струи плазмы проходит через металл так же легко, как стальной нож через масло.

В современной технике широко применяются всевозможные жароупорные материалы. Они названы так потому, что стойко выдерживают натиск тепла. Поэтому обработка их — дело хлопотливое и трудоемкое.

Использование струи плазмы позволяет производить ее значительно быстрее.

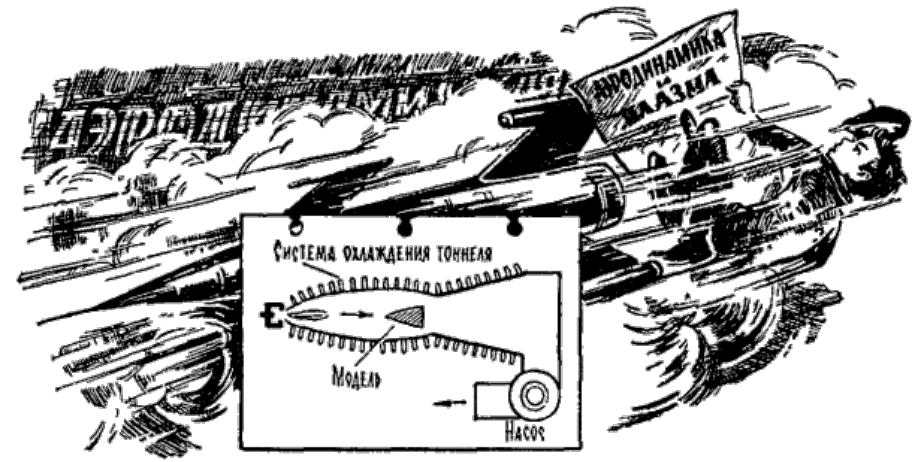
А керамика? До последнего времени готовые изделия из керамики не удавалось плавить. В струе плазмы легко плавится и керамика. Это позволяет отливать из нее резцы, получать сплавы керамики с металлами, изготовлять детали, необходимые и химикам, и металлургам, и машиностроителям.

Каждый школьник знает, как «разлучить» воду и растворенные в ней соли. Нужно нагреть воду и испарять ее до тех пор, пока на дне не останется одна соль.

Струя плазмы может успешно выступать в роли такого испарителя. Нагревая и испаряя любые материалы, можно по очереди отделять одни их составные части от других. Если направить струю плазмы на куски руды, то нетрудно будет выделить из нее какой-либо редкий металл и получить его в чистом виде.

Плазмохимия — так можно назвать это применение плазмы — исключительно перспективная отрасль техники. Сейчас она делает первые шаги.

А теперь посмотрим, как еще в технике используется струя плазмы.



На рисунке вы видите разрез так называемого аэродинамического тоннеля.

Словно смерч врывается в него струя плазмы. Расширяясь и непрерывно набирая скорость, она способна смести все на своем пути. В узком месте тоннеля скорость раскаленной плазмы может превысить скорость звука даже в десять — двадцать раз!

Подставляя этому потоку модели самолетов и ракет, можно испытать их на прочность.

Современные ракеты при своем движении выбрасывают огромное количество плазмы. Как себя чувствуют ракеты при отрыве от Земли или во время космических полетов — важнейший вопрос ракетной техники.

Установки, подобные аэродинамическому тоннелю, позволяют досконально изучить этот вопрос, причем, как видите, отпадает необходимость поднимать ракету в воздух.

Не так давно в иностранной печати появилось описание одной оригинальной аэродинамической трубы, в которой главную

роль тоже играет плазма. Эту трубу построила известная американская фирма «Боинг» в Сиэтле.

Плазма возникает в небольшой камере после разряда гигантской батареи, состоящей из четырех тысяч конденсаторов. Разрядная камера отделена от аэродинамической трубы пластмассовой перегородкой.

Перед «взрывом» мощный насос нагнетает в камеру воздух до давления ста сорока атмосфер, а из аэродинамической трубы другой насос откачивает воздух совсем.

Когда батарея конденсаторов зарядится до шести тысяч вольт, напряжение от нее подается на электроды и внутри камеры происходит разряд, похожий по своему действию на взрыв. Тридцать миллионов киловатт — такая мощность за короткое мгновение освобождается в камере. Возникшая при этом плазма имеет очень высокую температуру — четырнадцать тысяч градусов!

Огненный вихрь, сломав пластмассовую перегородку, врывается в аэродинамическую трубу и разгоняется до скорости, в двадцать семь раз большей скорости звука. И хотя это происходит в течение лишь одной двадцать пятой доли секунды, точные приборы добросовестно запишут, как ведут себя разные детали макета самолета или ракеты.

В нашей стране подобным исследованиям также уделяется большое внимание.

Созданные в СССР аэродинамические трубы отвечают всем требованиям современной техники.

Глава VII
Искра-труженица

Когда медь бывает тверже стали

Медь тверже стали? Возможно ли? Действительно, достаточно припомнить, как стальным зубилом вырубают отверстие в медной пластинке, чтобы не сомневаться, какой из названных двух металлов тверже.

Но героиней нашей книжки является плазма, и вы не ошибетесь, если предположите, что именно она может перевернуть все вверх дном, сделать одни тела податливыми, как воск, а другие — твердыми, как кремень.

Когда нужно обработать какую-либо деталь, главным является вопрос об инструменте. В схватке с металлом инструмент должен выйти победителем. А это может быть в том случае, если он значительно тверже обрабатываемой детали.

Много лет делали сверла, резцы, фрезы из стали, и она прекрасно справлялась с порученной работой. Но вот появились очень прочные сплавы, и прославленная сталь начала сдавать. Инструмент быстро изнашивался, а то и совсем выходил из строя, плавился или ломался. Придумали очень твердую керамику, но и она не всегда выходила победительницей в борьбе с металлом.

Тогда обратились к плазме.

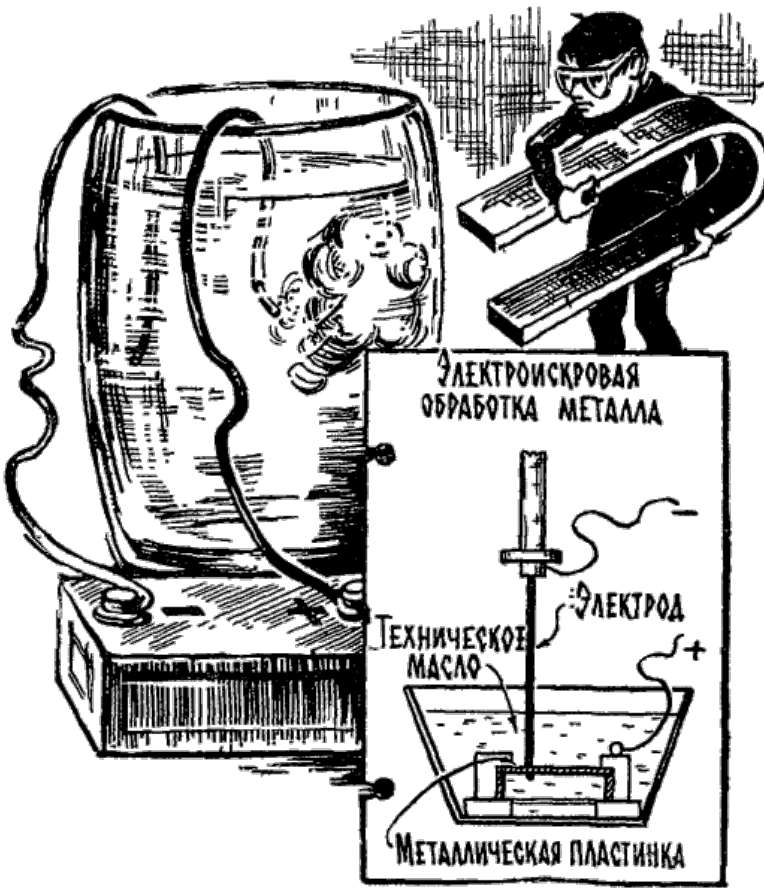
Два советских ученых — супруги Б. Р. и Н. И. Лазаренко — трудились над важной проблемой: как увеличить долговечность контактов, разъедаемых искрой при включении и выключении тока.

Поместив контакты в жидкое техническое масло, ученые заметили, что оно мутнеет. «Наверно, пригорает масло», — решили они, хорошо зная, что попрыгунья-искра может быть прекрасным «химиком».

Но когда муть появилась в чистой воде, исследователи задумались: откуда она взялась? Какого она происхождения? И еще: каковы ее свойства?

К воде, налитой в стеклянную банку, поднесли магнит. Мутное облачко притянулось к магниту. «Все ясно, — решили ученые, — в воде оказались осколки железных контактов, „брызги“, разлетавшиеся после каждого удара искры. Значит, можно, используя это явление, получать металлические

порошки». И они стали конструировать «искровую мельницу». Во время опытов исследователи заметили, что металлическая пудра отделяется от контакта, соединенного с положительным зажимом источника тока. Значит, пластинку, предназначенную для переработки в «пудру», следует соединить с плюсом. Известно было также, что именно искра разрушает металл. Значит, рассуждали изобретатели, второй электрод нужно сделать острым, с него будут прыгать искры при значительно меньшем напряжении.



Кроме того, на нем меньше будет оседать железных пылинок, появляющихся в масле.

Зная, что отрицательный электрод остается невредимым, изобретатели взяли шестигранный медный стержень и заставили его подпрыгивать над стальной пластинкой. Прыжок — искра, второй прыжок — новая искра и новые частички металла оказываются в масле.

Но вот стержень-электрод вдоволь напрыгался над стальной пластинкой. Масло в ванночке сильно замутилось. А что стало с электродами?

Когда их вытащили из масла, то оказалось, что медный электрод насквозь «пробил» стальную пластинку, причем форма отверстия в точности повторила очертания медного стерженька — оно тоже было шестигранным.

Замечательное открытие! Искрой можно «сверлить» отверстия. Ее чудесная сила помогает медным стержнем «пробивать» отверстия в стали! Без всякого предварительного разогрева, без специального инструмента!

Так родилась электроискровая обработка металлов, без которой немыслимо современное производство.

Промышленность нашей страны выпускает сотни типов станков для такой обработки металлов. Они уже значительно совершеннее установок Лазаренко, но принцип их действия тот же. Они выполняют почти любую работу. Нужно просверлить отверстие в сверхтвердом сплаве — делают отверстие. Требуется сделать углубления в штампе или извлечь из металла сломанные сверла и метчики — справляются и с этой работой.

Электрической искрой можно на листе металла «нарисовать», выгравировать любой орнамент, пейзаж и даже портрет, какими бы сложными они ни были.

Почему такая работа стала по плечу электрической искре — этому едва заметному кусочку плазмы? Что происходит там, где вспыхивает и гаснет искра? Проскакивая между пластинкой и стерженьком, она каждый раз вырывает у положительно заряженного изделия частичку металла. Простым глазом эта частица незаметна, но «вода камень точит», говорится в народной пословице. Так и маленькие искорки, отрывая одну частицу металла за другой, освобождают путь для столь необычного «сверла», например, медной или латунной проволочки.

Электрической искре любой материал «по зубам». Но не только в этом ее преимущество. В новых, электроискровых, станках нет особо прочных, массивных деталей, не найдете там и вращающихся деталей, без которых не обходится ни один обычный металлорежущий станок.

Являясь по устройству предельно простым, электроискровой станок тем не менее оказался способным выполнять очень сложную работу. Если раньше детали мудреной формы делали, как правило, вручную, то теперь веера искр изготовляют их без вмешательства человека. На его заботе осталось лишь следить за тем, чтобы станок исправно выполнял распорядок работы.

Теперь представляете, каким могуществом обладает плазма, если в содружестве с ней обыкновенная медная проволочка может в куске стали делать борозды, уступы и отверстия любой формы?

Гроза под водой

Можно сделать так, что искра, родившаяся под водой, станет делать работу, которая под силу только мифическому титану. Например, она сможет расколоть на части гранитную скалу.

Первым такую «физическую» силу искры обнаружил студент-ленинградец Л. А. Юткин. Было это несколько десятилетий назад.

Юткин опустил на дно обыкновенной тарелки два электрода и заставил электрическую искру проскочить между ними. К великому удивлению студента, тарелка раскололась. Опыт был повторен — результат тот же самый. Пытливый студент заинтересовался открытым им явлением и стал изучать его. Свою работу он продолжил и после того, как получил диплом инженера.

Годы упорного труда принесли успех. Советский инженер, возглавивший лабораторию, создал удобное «оружие» для большого числа промышленных производств.

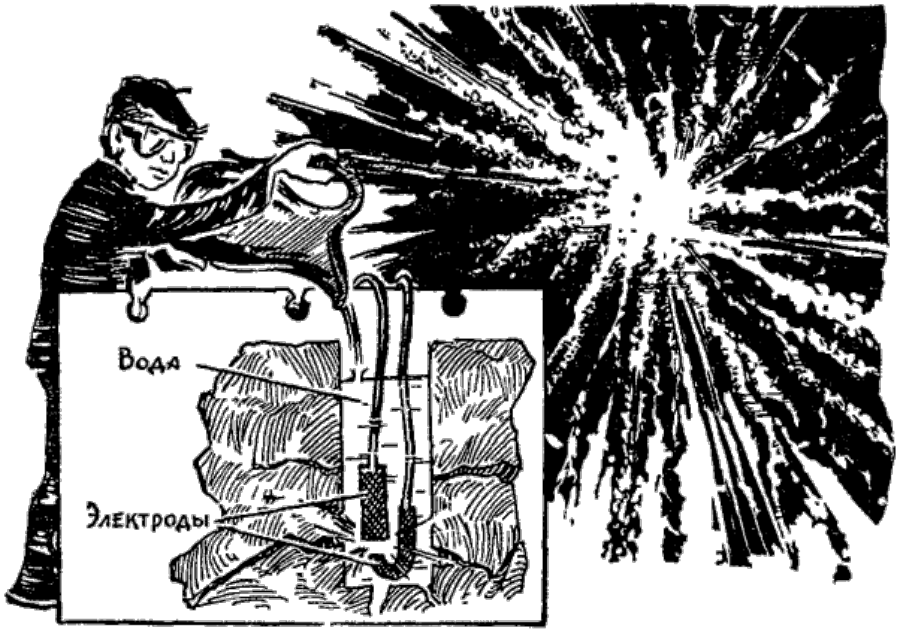
Но прежде чем рассказывать о том, что делает плазма в новой для нее роли, посмотрим, как получается «гроза» под водой, как протекает физический процесс после возникновения искры.

Электрическая искра под водой, как и в воздухе, мчится с огромной скоростью — свыше десяти тысяч километров в секунду.

Молекулы воды, которые плотной толпой окружают искровой канал, получают короткий и резкий удар. Вода под натиском плазмы расступается в стороны. Там, где промчалась искра, на мгновение образуется пустота.

Но вода во много раз плотнее воздуха. И вслед за искрой она мгновенно смыкается, как и над камнем, брошенным в воду, но только во много раз быстрее.

Заполнение водой пустоты за хвостом искры вызывает второй удар, который называется кавитационным. При этом ударе в воде возникают такие давления, что даже огромный булыжник, если разряд произведен в его середине, разваливается на отдельные куски. Электрическая энергия непосредственно переходит в механическую.



Теперь горняки могут не закладывать взрывчатку в скважины. Достаточно наполнить их водой, поместить туда электроды, подать по проводам высокое напряжение и включением рубильника произвести «взрыв».

Изобретение инженера Юткина прошло проверку временем. Созданные им умные «машинки» взрывают крепчайшие валуны, бурят скважины, измельчают камни. «Искровая мельница» супругов Лазаренко могла превращать в пудру куски металла, установки инженера Юткина силой искр умеют размельчать в песок камни и валуны.

Есть еще одно применение «подводной грозы» — получение эмульсии.

Существуют жидкости-враги. Например, масло и вода. Масло всегда собирается над водой, смешать воду и масло обычным перемешиванием не удается. Трудно также получить однородную смесь газа и жидкости. А такие смеси — эмульсии — очень нужны. Они широко применяются при обогащении руд, при омылении жиров, при производстве маргарина и т. д.

Много лет эмульсии получали простым перемешиванием. Сейчас с этой работой хорошо справляется электрическая искра. В семействе приборов, сконструированных инженером Юткиным, есть такой, который создает в жидкостях каскады искр и образует идеальные эмульсии.

Можно не сомневаться, что приборы и установки, делающие «грозу под водой», в ближайшие годы станут такими же распространенными, как автоматические сварочные аппараты,

станки для холодной штамповки и скоростной обработки металлов и другие совершенные машины, которые работают в цехах заводов и фабрик.

Плазма — упрочнитель и плазма — резец

Едва ли можно сейчас найти какое-либо предприятие или мастерскую, не говоря уже о больших фабриках и заводах, где не было бы токарного, сверлильного, фрезерного или какого-либо другого металлорежущего станка. Любой такой станок мертв без инструмента — сверла, резцов, фрезы, метчика. В совнархозах нашей страны есть десятки предприятий, которые только тем и занимаются, что день и ночь делают режущий инструмент. И все равно его не хватает. Слишком много у нас всевозможных станков, слишком велико количество изделий, изготовляемых на них.

Поэтому проблемой номер один в станкоинструментальном производстве является увеличение срока службы резцов, сверл, метчиков.

В каком случае сверло или резец проработает больше времени? Разумеется, в том, когда оно, обрабатывая металл, само не будет тупиться.

Ученые предложили немало способов продления жизни инструмента.

Важнейшим из них является закалка инструмента. Она состоит в том, что стальную деталь сильно разогревают, а потом опускают в масло или в воду.

Чтобы инструмент не стал хрупким, нужно закаливать лишь его рабочую поверхность, то есть те его части, которые режут металл. Делают это как правило в мощных индукционных печах.

Кажется, предпринято все, чтобы инструмент исправно и долго работал. Но плазма заявляет: «Нет, еще не потрудилась я. А если потружусь, то почти вдвое увеличу жизнь этих сверл и резцов…»

И трудится, делает инструмент прочнее и выносливее, помогает экономить материалы и средства.

…На столе стоит небольшой чемоданчик. В нем собран простой выпрямитель переменного тока. Кстати, выпрямительной лампой в нем служит газотрон — плазменный прибор, о котором в этой книжке будет рассказано особо.

Таким образом, потребляя из электрической сети переменный

ток, наш чемоданчик превращает его в постоянный — чтобы «кормить» электрический разряд, чтобы получать искры, плазму.

Предположим, нужно удлинить жизнь резца, сделать его поверхность более прочной. Для этого резец проводом соединяют с минусом выпрямителя, а плюс подключают к небольшой пластинке из твердого сплава. Эта пластинка сидит в гнезде вибратора и, когда прибор включен, непрерывно прыгает то вверх, то вниз.

Теперь, чтобы дать искре возможность показать свои способности, нужно прикоснуться пластинкой к резцу и водить ею по поверхности металла.

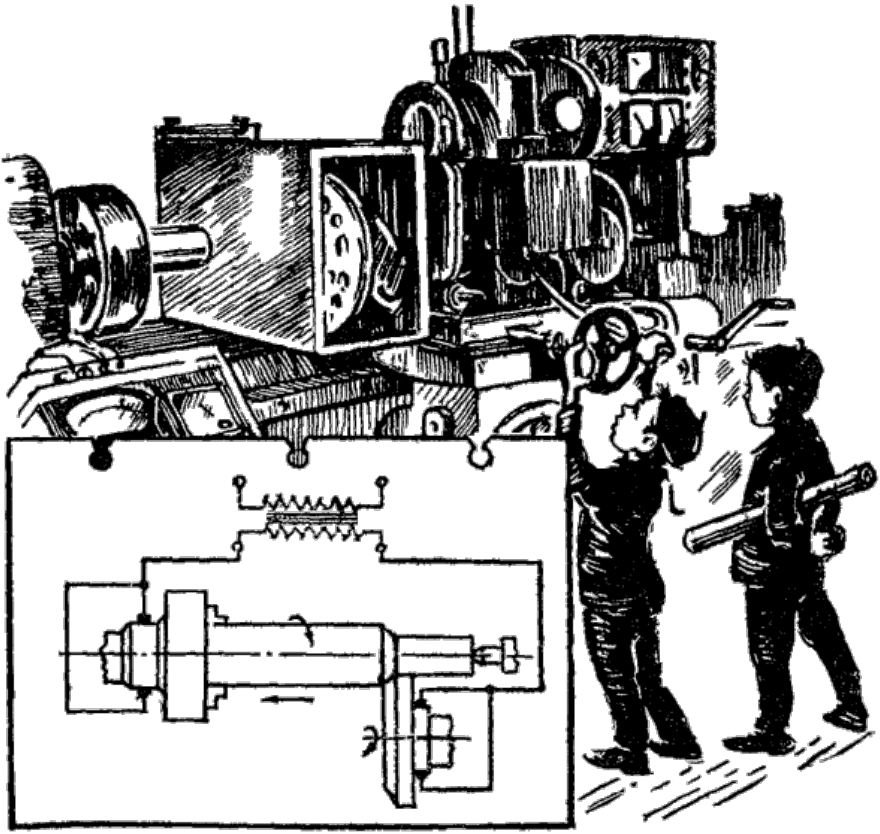
Вибрирующая пластинка — анод, «танцуя» на резце, будет то замыкать, то размыкать электрическую цепь. Крохотные искорки, получающиеся при этом, тотчас начнут делать свое дело.

Помните, я говорил, что внутри электрической искры, несмотря на ее «тщедушность» и «несолидность», температура на мгновение достигает десятка тысяч градусов. Искра-упрочнитель, касаясь резца, нагревает его до четырех-пяти тысяч градусов. Не весь, а одну ничтожную по размерам точку. Такая температура держится меньше миллионной доли секунды. Но этого достаточно, чтобы закалить металл.

Вспомните опыты супругов Лазаренко, создавших «искровую мельницу». У них превращался в пудру положительный электрод.

В нашем аппарате электроискрового упрочнения положительным электродом является пластинка из тугоплавкого металла, вставленная в вибратор. От этой пластинки тоже отрываются мельчайшие частички металла. Часть этих частиц расплавлена, часть — твердая. Расплавленные капельки металла успевают соединиться с азотом воздуха, образовав более прочные вещества — нитриды, которые вместе с твердыми осколками электрода-пластинки увязают в металле резца и еще больше повышают его прочность.

Вот видите, какие последствия вызывает еле заметная искорка, ударяющаяся в поверхность инструмента. Немало пришлось потрудиться ученым, чтобы обнаружить все это. Работа искр окупается с лихвой. Сейчас с помощью простых и удобных аппаратов, рождающих искры, увеличивают рабочий стаж сверл, фрез, зубил, осей, лопастей бетономешалок и сотен других деталей. При этом расход энергии получается более чем скромным: для обработки тысячи квадратных сантиметров поверхности деталей требуется столько же энергии, сколько потребляет одна сорокаваттная осветительная лампа в течение часа. Это стоит меньше полукопейки.



Итак, плазма умеет не только сверлить, резать и долбить сталь, но и делать ее прочнее.

Может возникнуть вопрос: уж коль плазма способна делать так много, то нет ли такого устройства, где бы она одновременно обрабатывала металл и улучшала бы его свойства?

Оказывается, подобное устройство есть. Оно появилось совсем недавно. Подойдешь к этой машине и скажешь: это токарный станок. И действительно, здесь те же самые узлы и детали, что и у токарного станка, здесь так же вращается шпиндель с зажатой стальной болванкой, как и в токарном станке. Одного нет — резца. Вместо него укреплен на оси массивный металлический диск, к которому подведено напряжение.

Вращается этот диск, крутится болванка, становясь все тоньше и тоньше — металл срезается мощной дугой плазмы, вспыхнувшей между болванкой и ползущим вдоль нее диском. За один проход дуга может содрать добрый сантиметр толщины детали. Одновременно происходит упрочнение поверхностного слоя детали, чего нельзя добиться ни на одном металлорежущем станке. И все это благодаря плазме.

Такая электроконтактная обработка применяется там, где режущий инструмент не способен выполнить работу, а именно: для грубой обдирки литья и других заготовок из очень твердых сплавов.

Плазма не только выполняет, казалось, непосильное дело, но и позволяет экономить средства, потому что себестоимость работы уменьшается по сравнению с точением в два-три раза.

Молния работает на человека

Если вести рассказ о разных видах плазмы, соблюдая хронологию, то нужно было бы прежде всего рассказать о молнии. С нею человек столкнулся сразу же, как появился на земле. Есть мнение, что огонь люди получили «из рук молнии», поджегшей лес. Это первое благое дело, совершенное плазмой. Но молния — плазма, созданная в лаборатории природы, — пожалуй, больше приносила вреда, чем пользы. Она нередко убивала людей и домашних животных, поджигала посевы, леса, жилища.

Со времени изобретения громоотвода началось приручение молнии. Уже Ломоносов и Рихман заряжали ее энергией лейденские банки. Попов заставил молнию выполнять роль радиопередатчика, а потом изобрел свой искровой передатчик.

Служит ли сейчас человеку молния? И если служит, то как?

В настоящее время полным ходом ведутся наблюдения за грозами, регистрируются атмосферные электрические разряды.

«Грозоотметчик» Попова не мог ответить, откуда движется грозовой фронт, на каком расстоянии находится он от наблюдателя. Он только «отмечал» сам факт возникновения грозы.

Сейчас в распоряжении метеорологов находятся и радиолокаторы, и пеленгаторы, и чувствительные приемники, и «дальнобойные» передатчики. В течение нескольких минут, пустив в ход эту аппаратуру, они узнают, где появляются грозовые фронты и куда они идут.

«Гроза над Марселем! Гроза над Анкарой!» — то и дело поступают сообщения на Центральный пункт метеорологической службы.

Данные о грозах и другие сведения, добытые на метеостанциях, помогают точнее предсказывать погоду.

В последние годы пристальное внимание ученых привлекли электромагнитные колебания, длина волны которых во много раз

больше длины радиоволн, используемых для радиопередачи. Оказалось, что эти сверхдлинные радиоволны обладают целым рядом преимуществ по сравнению с привычными для нас радиоволнами. Они, например, могут распространяться на очень большие расстояния, и связь, установленная на них, отличается завидной устойчивостью. Даже магнитные бури, происходящие то и дело в атмосфере, не влияют на поведение этих волн.

Любая электрическая искра излучает целый «букет» радиоволн. Чтобы убедиться в этом, включите радиоприемник. Когда лампы прогреются, щелкните несколько раз электрическим выключателем света. Приемник немедленно отзовется на эти щелчки: в такт им будет слышаться треск. Антенна приемника приняла радиоволны, которые возникли от маленькой искорки, проскакивающей в выключателе.

Теперь перейдите на другой диапазон и повторите то же самое. Приемник и на другой волне, получив порцию радиоволн, будет трещать.

Молния — это мощная искра. И, как доказали ученые, она излучает радиоволны от карликов в несколько миллиметров до гигантов, измеряемых многими километрами.

Для изучения сверхдлинных волн не стали на первых порах делать специальные генераторы таких волн, их с успехом заменили атмосферные электрические разряды — молнии.

Грозы возникают на разных расстояниях от места приема и в любое время суток. Это позволяет хорошо изучить, как сверхдлинные радиоволны могут преодолевать большие расстояния и какие причины влияют на их поведение.

Можно не сомневаться, что и этот участок электромагнитных колебаний будет покорен человеком.

Природная плазма — молния — помогает ученым сделать это быстрее.

Глава VIII
Химия и плазма

Удобрения из воздуха

В далекой южно-американской стране Чили очень много полезных ископаемых. Но особенно богата она залежами селитры — ценнейшего химического удобрения. Этот минерал, состоящий из натрия, азота и кислорода, с тех пор как стали вывозить его в разные страны, так и называют чилийской селитрой. Превратив его в порошок и бросив в землю, хлеборобы заранее знают, что пашни обретут вторую молодость, дадут хороший урожай.

Но перевозить удобрения за тысячи километров дорого и хлопотно. Нужно найти какой-то выход. Геологи стали искать селитру у себя дома, химики — пробовать получать ее искусственным путем. Работа тех и других в ряде стран оказалась успешной, и сейчас уже не снаряжают корабли за далеким грузом.

Внесла свою долю в общее дело и плазма. В любой селитре содержится азот и кислород. Нельзя ли их брать из безбрежного воздушного океана? Ведь в воздухе, которым мы дышим, немало кислорода и огромное количество азота. Оказывается, можно, но для этого нужно соединить азот с кислородом, иными словами получить окислы азота.

А это как раз самая трудная задача. Азот — газ неактивный, он неохотно расстается со своей свободой. Нужно какое-то постороннее воздействие.

Генри Кавендиш первым соединил азот и кислород, взятые из воздуха.

Электрические искры, которые проскакивали через стеклянную трубку, наполненную этими газами, рождали желанные окислы азота. Но какой дорогой ценой они доставались! Три недели Кавендиш гонял электрические искры, чтобы опустошить небольшую стеклянную трубочку!

Ясно, что требовалось более мощное устройство. Русский ученый Каразин еще на заре прошлого века высказал смелую мысль: выпустить в воздух стаю воздушных шаров, ловить ими молнии и заставить эти молнии делать селитру. Но и этот план не решал задачи: «молниевая» фабрика бездействовала бы в ясную погоду и зимой и такое предприятие наверняка прогорело бы.

Плазма связана с двадцатым веком. Только бурное развитие техники и удивительные достижения науки помогли ей стать заправским химиком.

Первые промышленные установки для извлечения азота с кислородом из воздуха появились в начале нашего столетия. В них день и ночь трудилась плазма, но не в виде искр, а в виде мощной ревущей дуги.

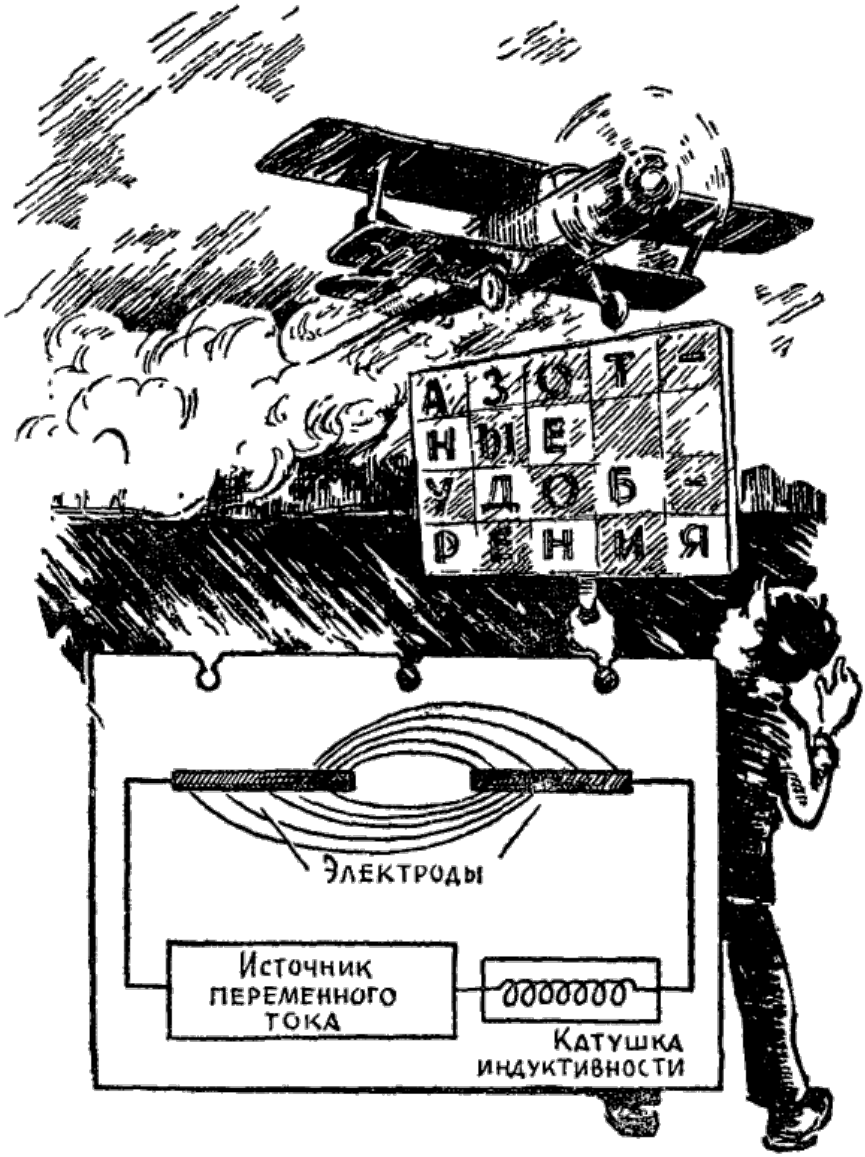
Сильные электромагниты, создающие постоянное магнитное поле, расплющивают дугу в тонкий огненный блин диаметром метра в три. В зону огня под давлением подается воздух. Только в плазме азот «соглашается» вступить в союз с кислородом: об этом свидетельствует фиолетовый дым окислов азота, заполняющий печь.

Теперь, когда азот воздуха попал в «ловушку», с ним можно делать все, что угодно. Пропустив окислы через обыкновенную воду, легко получить азотную кислоту — жидкость, разъедающую металл. Соединив азотную кислоту с щелочью, получим селитру. Если щелочь — едкий натр, то будет натриевая селитра, или чилийская. Если щелочь — едкий калий, то селитра будет калиевой. Тоже ценный продукт. Смесь калиевой селитры с углем, серой или металлической пылью — не что иное, как дымный порох, нужный всякому охотнику. А праздничные ракеты тоже не могут совершить свой путь без помощи калиевой селитры. Широко применяется она и как очиститель золота и серебра.

Как же удается плазме заставить безразличные друг другу вещества вступить в союз? Почему вещества в четвертом состоянии становятся химически активными?

На эти вопросы может ответить только современная теория атома.

Плазма — хаос всевозможных мельчайших частиц вещества: электронов, ионов положительных и отрицательных, возбужденных атомов и молекул, электронейтральных молекул и т. д. В ней ни на мгновение не прекращаются удары электронов о молекулы и атомы, соударения ионов между собой, излучение и поглощение фотонов. Все это повышает активность веществ, находящихся в разрядной трубке. Большую роль играет высокая температура плазмы. Я еще раз напоминаю, что внутри безобидной с виду электрической искры температура достигает десяти тысяч градусов. И, хотя эта температура держится миллиардные доли секунды, этого времени достаточно, чтобы некоторые атомы соединились, дав новое вещество с новыми свойствами.



Ученые-химики в содружестве с физиками упорно и настойчиво постигают суть химических реакций, происходящих в плазме, стремятся быстрее внедрить в народное хозяйство новые способы производства. Особенно возросло значение этой работы после Пленума ЦК КПСС, состоявшегося в декабре 1963 года. Этот Пленум принял грандиозную программу дальнейшего развития химической промышленности в нашей стране. «Если бы был жив Владимир Ильич Ленин, — сказал в своем докладе на Пленуме Н. С. Хрущев, — то, видимо, он сказал бы примерно так: коммунизм есть Советская власть плюс электрификация всей страны, плюс химизация народного хозяйства».

Решения декабрьского Пленума выдвинули химическую промышленность на первый план в народном хозяйстве. За семилетие с 1964 по 1970 год производство важнейших продуктов химии увеличится в 3–3,3 раза. Такого размаха работ не знала ни одна страна в мире!

В семилетнем плане развития Большой химии намечено резкое увеличение выпуска минеральных удобрений и других средств повышения продуктивности полей и ферм, что позволит довести производство зерна к 1970 году до 14–16 миллиардов пудов.

Можно не сомневаться, что будут шире применяться и плазменные способы производства минеральных удобрений. Но в плазме заключены и другие, не менее заманчивые возможности.

Плазма-химик способна не только объединять атомы и молекулы воедино. Она может «разлучать» их, а в ряде случаев и перестраивать всю «архитектуру» веществ, в которых происходит электрический разряд. Какую же пользу извлекают из этого люди?

Чудесные превращения

Сто лет назад французский физик Бертло попробовал пропустить каскад электрических искр через газ метан, или болотный газ. Назван болотным этот газ потому, что в природе он нередко выделяется со дна болот.

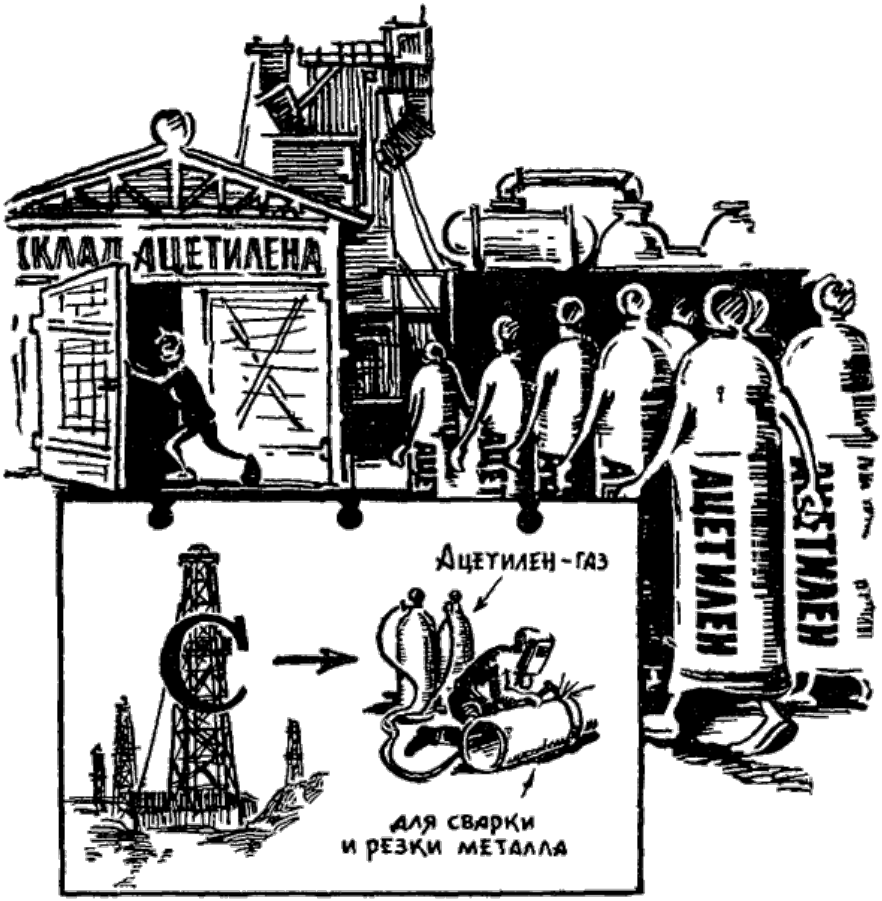
Опыт ученого имел неожиданный результат: маленькие искры-труженицы сделали чудо — превратили метан в другой газ — ацетилен. И в метане и в ацетилене имеются атомы только двух элементов — углерода и водорода. Но связаны они между собой по-разному. В молекуле метана атом углерода окружен четырьмя атомами водорода, ацетилен хоть и построен из тех же «кирпичиков», но «архитектура» его другая. В молекуле ацетилена содержится не один, а два атома углерода, а водорода — не четыре, а тоже два.

Ацетилен — более ценный газ, значит, плазма трудилась не напрасно. Этот газ в наше время применяется при резке металлов, при поверхностной закалке стали, а также для получения пластмасс.

Установка Бертло была далеко не совершенной, она слишком мало давала ацетилена, чтобы можно было серьезно думать об «оснащении» искрой химических заводов.

Опыт Бертло ценен для нас другим. Он показал, что в недрах

плазмы может происходить перегруппировка атомов, могут рождаться молекулы новых веществ с новыми свойствами.



Обнаружив такую способность плазмы, ученые стали настойчиво изучать химические реакции, возникающие при газовом разряде.

Работа эта дала интересные результаты.

Прежде всего нужно рассказать о новых способах получения ацетилена. До последнего времени этот ценный газ «извлекали» из светло-серого камня — карбида кальция.

В Румынии имеется огромное количество природного газа. Из него стали добывать ацетилен. Сделать это помогла плазма.

Установка, созданная под руководством румынского ученого, академика Бэдэрэу, имела на вооружении не искру, а электрический разряд высокой частоты. На разрядную трубку насажены два металлических кольца, на которые подано переменное напряжение высокой частоты. В трубке, заполняемой природным газом, ток через плазму непрерывно меняется по величине и направлению. Более сорока процентов природного

газа превращается в ацетилен. Это высокий процент, и сырья имеется сколько угодно. После очистки от паров воды и других примесей ацетилен поступает в химическое производство для дальнейшей переработки.

Ацетилен — не единственный продукт, который получили румынские ученые с помощью плазмы. Им удалось создать совершенно новое вещество, получить которое химики прежде не могли.

Вещество это относится к группе углеводородов-полимеров и обладает замечательными свойствами. Оно не боится кислот, совершенно не проводит электричества, выдерживает температуру до четырехсот градусов.

Если использовать новый полимер в качестве изоляции в электрических машинах, то можно будет брать от этих машин мощность в несколько раз большую, так как перегрев таким машинам будет не страшен. Добавляя в пластмассы это вещество, можно получить такие изоляторы, что фарфор, слюда и другие изолирующие материалы окажутся совершенно ненужными.

Так плазма помогает создавать новую химию, химию искусственных веществ.

Что же еще она может?

Возьмем, например, ценный химический продукт — аммиак. Из этого газа делают удобрения, получают азотную кислоту, его применяют в текстильном производстве, в медицине. Всем известный нашатырный спирт на одну четверть состоит из аммиака.

Получают аммиак из водорода и азота в сложных установках, давление в которых может достигать тысячи атмосфер.

Чудодейственная сила плазмы позволяет производить аммиак значительно проще: в большой разрядной трубке зажигается тлеющий разряд и девяносто восемь процентов смеси водорода и азота превращаются в аммиак.

Как видите, плазма-химик может работать почти без отходов.

В 1882 году великий русский ученый Д. И. Менделеев высказал идею переработки нефти, получившей название крекинг. В специальных мощных печах с давлением до шестидесяти атмосфер и температурой четыреста — пятьсот градусов сложные молекулы нефти, состоящие из углерода и водорода, распадаются на более простые с отщеплением водорода, что дает возможность получать больше высококачественного бензина.

Но бензин бензину рознь. Моторы самолетов требуют самого хорошего, быстро испаряющегося бензина, автомобильные моторы довольствуются худшим, более тяжелым бензином.

Чтобы побольше получить авиационного бензина, обычный бензин тоже подвергают крекингу. И в этом важном деле плазма оказывается полезной.

Ученые попробовали осуществить крекинг бензина в дуговом разряде. Результат получился обнадеживающий. Хорошо себя зарекомендовал коронный разряд. В нем крекинг осуществляется при температуре пятьсот градусов. Бензин, полученный после переработки, по качеству значительно лучше, чем тот, который поступил «на коронную переработку».

До сих пор мы говорили о плазме-химике, выступающей в роли дублера обычной, хорошо всем знакомой химии. Действительно, ацетилен, аммиак, высококачественный бензин неплохо получаются в обычных, неплазменных установках.

Однако есть некоторые вещества и химические продукты, которые своим «рождением» обязаны только электрическим разрядам.

Что такое озон? Это — кислород, молекулы которого состоят из трех атомов. Обычный кислород, которым мы дышим, как известно, содержит молекулы, каждая из которых состоит из двух атомов кислорода.

Впервые озон был открыт в 1785 году голландским физиком Ван-Марумом в искровом разряде. В наши дни озон получают только в электрическом разряде, но не в искровом, а в тихом.

Озон — ценный химический продукт. Без него не обходится производство искусственной камфары, ванилина и даже мыла. Этот газ голубого цвета является сильным окислителем. Такая способность озона широко применяется для дезинфекции воздуха и воды, для уничтожения всевозможных неприятных запахов.

Есть еще одно важное применение озона — в ракетах. Озон в полтора раза тяжелее кислорода. Поэтому если взять его вместо жидкого кислорода, то окислитель займет меньше места, а ракета пролетит дальше, так как освободившееся место можно заполнить топливом.

Плазма помогает находить для ракет новые виды топлива. Можно сказать больше: она дает возможность получить горючее, выделяющее много тепла… без горения.

Все знают, что самым легким газом является водород. Молекулы его состоят из двух атомов-близнецов.

В плазме газового разряда молекулы водорода можно сделать в два раза легче: разлучить атомы, получить так называемый атомарный водород, молекулы которого состоят из атомов-близнецов.

Атомарные газы — например, водород и кислород — прекрасное горючее. Если дать атомам-одиночкам соединиться в

пары, превратиться в обычный газ, то выделится очень много энергии. Одним килограммом атомарного водорода можно вскипятить полтонны воды.

Правда, имеются здесь трудности: атомарные газы неустойчивы, их трудно хранить. Кроме того, пока не удается получать их в большом количестве.

Но все это технические трудности. Наступит время, и они будут преодолены. Тогда роль плазмы-химика увеличится еще больше.

Из искры…

Итак, в плазме могут происходить самые удивительные превращения веществ. Ученые многих стран неутомимо трудятся над тем, чтобы заставить эти превращения приносить ощутимую пользу людям. Сейчас эта работа в самом разгаре.

Но рассказ о плазме-химике будет неполным, если не уделить в нем место еще одному вопросу.

Плазма может не только производить свою химическую продукцию, но и быть «запевалой», зачинательницей сложных химических процессов, в которых сама она потом участия не принимает.

Возьмем, например, взрывы.

Чтобы произвести взрыв, в нужный момент в заряд пироксилина или тротила вкладывается специальное устройство — капсюль-детонатор. К капсюлю ведет огнепроводный шнур. Взрывник поджигает шнур и прячется в укрытие. Срабатывание капсюля-детонатора заставляет взорваться весь заряд.

А как быть, если заряд весит несколько тонн и взрыв захватывает бóльшую площадь? Нужно производить взрыв на расстоянии. Осуществить это помогает плазма.

Почти сто пятьдесят лет для взрывания зарядов применяется электрическая искра. Первым дал ей такую работу русский электротехник Павел Львович Шиллинг. В наше время все большие и ответственные взрывы производятся с применением искры-запала.

В укрытии, где прячутся взрывники, ставится небольшая машинка. От нее к заряду тянутся провода, длина которых может быть любой. Внутри заряда заложен электродетонатор. К нему-то и присоединяются провода.

Стоит повернуть рукоятку взрывной машинки — и маленькая

искорка, проскочившая в электродетонаторе, дает начало химическому процессу во взрывателе, который тотчас и взрывает весь заряд. В одно мгновение огромные массы земли выбрасываются вверх могучей силой, и человек избавляется от дорогостоящей и длительной работы.

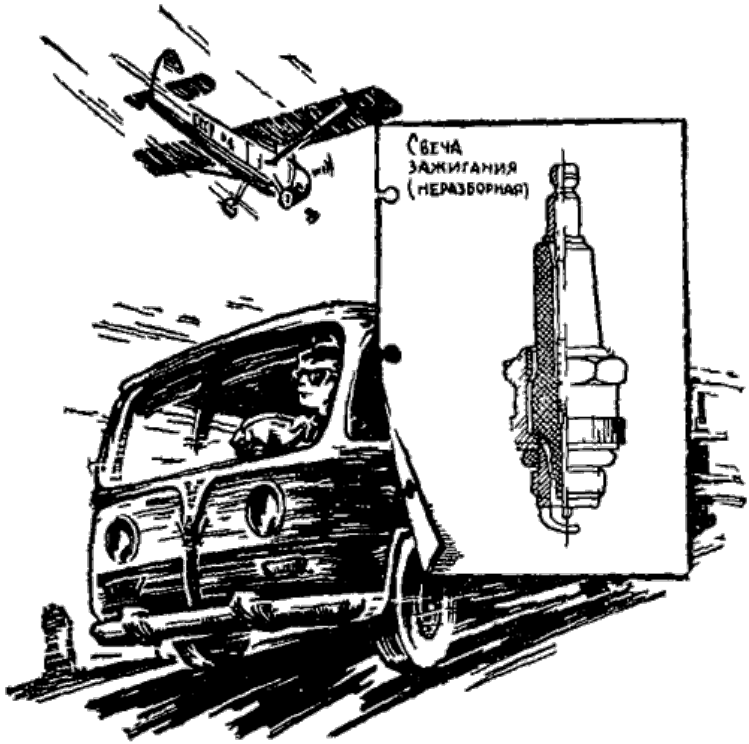
При взрывах выделяется колоссальное количество тепла и образуются нагретые, сильно сжатые газы, которые являются не чем иным как плазмой. Давление в очаге взрыва достигает нередко сотен тысяч атмосфер, а скорость движения взрывной волны — нескольких километров в секунду.

Взрыв — сложный химико-физический процесс. Возникнув от маленькой искры — небольшого кусочка плазмы, он превращает в четвертое состояние огромные массы вещества. Таким образом, роль искры-химика не так уж мала!

Искра бывает участницей процессов-взрывов, происходящих в цилиндрах автомобильных, автобусных, мотоциклетных и других двигателей внутреннего сгорания.

Автомобиль или мотоцикл движется за счет энергии сгорания паров бензина в цилиндрах двигателя. Эти пары, смешанные с воздухом, взрываясь, толкают поршни вниз и заставляют крутиться автомобильные колеса. Правда, сгорание или взрыв внутри цилиндра двигателя протекают медленнее, чем, скажем, взрыв толовой шашки, но признаки взрыва здесь налицо. В автомобильном цилиндре тоже происходит внезапное изменение состояния вещества, там тоже химическая энергия переходит в энергию движения.

Когда между электродами запальной свечи, ввернутой в головку цилиндра, проскочит искра, происходит химическое превращение бензина.



На рисунке изображена такая свеча. Она устроена просто. В середине свечи имеется металлический стержень. К верхнему его концу подходит привод высокого напряжения. А нижний конец оказывается по соседству с двумя электродами. Когда на стержень-электрод свечи подается напряжение в несколько тысяч вольт, между стержнем и каким-либо электродом проскакивает искра, которая и воспламеняет пары бензина.

Без искры автомобильный двигатель работать не станет. Это известно любому шоферу. Поэтому, когда двигатель автомобиля вдруг перестает работать, первым делом нужно убедиться, что искры проскакивают во всех цилиндрах.

Глава IX
Плазменные приборы и аппараты

Выпрямители-гиганты и выпрямители-карлики

Давайте ответим на один вопрос: какой ток, переменный или постоянный, нужен больше людям?

— Конечно, переменный, — ответят многие из вас. — Переменным током освещаются дома, улицы, автомагистрали, он приводит в движение моторы всевозможных станков на фабриках и заводах, заставляет работать блюминги и подъемные краны. Даже в наших домах все электроустройства — утюги, пылесосы, холодильники, телевизоры и приемники — включаются в сеть переменного тока.

Выслушаешь такое мнение и невольно придешь к выводу, что на долю постоянного тока почти ничего не остается, что время, когда он был в ходу, прошло, и сейчас на нем работают только машины и аппараты, перешагнувшие к нам из прошлого века.

А это неправильно.

Что бы случилось, если бы однажды постоянный ток «забастовал», перестал работать на людей.

Прямо нужно сказать, картина получилась бы неприглядная.

Вмиг остановился бы весь городской транспорт. Ни трамваи, ни троллейбусы, ни автомобили без постоянного тока двигаться не могут. В трамваях и троллейбусах, а также в электропоездах установлены моторы-силачи, которые работают только на постоянном токе. В автомобилях, как известно, работают бензиновые двигатели, но они становятся беспомощными, если аккумуляторы перестанут питать постоянным током систему зажигания.

«Забастовка» постоянного тока тяжело отразилась бы и на промышленности.

Остановились бы электрокраны и другие подъемные механизмы, погасла бы дуга в электрических печах, выплавляющих алюминий, мощные электролизные установки перестали бы производить металлы — магний, бериллий, медь и др.

В общем, трудно перечесть все неприятности, которые принесло бы людям «исчезновение» постоянного тока.

Даже те электрические устройства, которые получают свой

«паек» из сети переменного тока, — например, киноустановки, приемники, телевизоры и др., — тоже отказались бы работать.

В кинопроекционном аппарате, как вы знаете, дуга, освещающая экран, питается постоянным током, в приемниках и телевизорах радиолампы и кинескопы выполняют свои обязанности только в том случае, когда на их электроды подано постоянное напряжение нужной величины.

Откуда же берется это постоянное напряжение в устройствах, которые вы включаете в сеть переменного тока?

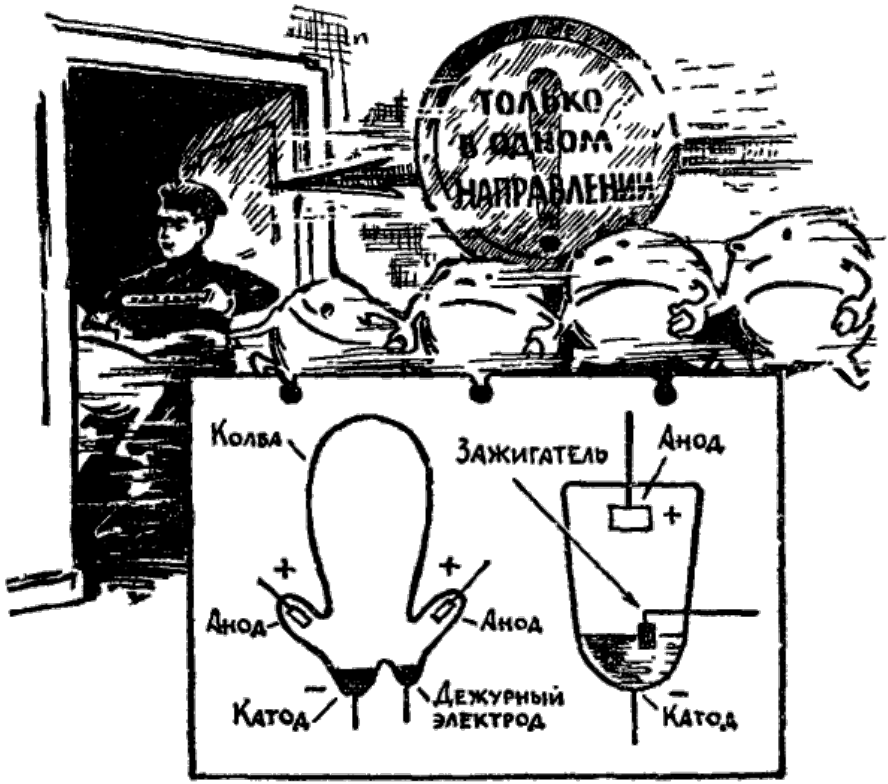
От вмонтированных внутрь выпрямителей, преобразующих переменный ток в постоянный.

Современная техника располагает целым набором выпрямителей различных типов — механических, твердых, жидких, электронных и… плазменных. Последние часто называются ионными, или газовыми, выпрямителями.

О них и поговорим сейчас.

Плазменные выпрямители тока по устройству и размерам бывают разные. Есть среди них такие, рост которых превышает метр, а есть совсем малютки, умещающиеся на ладони ребенка. Все зависит от того, где тот или иной выпрямитель применяется.

Для питания постоянным током моторов электропоездов, трамваев, троллейбусов, плазменных установок для получения удобрений из воздуха, в дуговых печах нужны выпрямители мощные, способные «выдать» ток большой силы. С этой работой, как правило, хорошо справляются ртутные дуговые выпрямители.



На рисунке показан разрез ртутного выпрямителя. В стеклянную колбу, из которой выкачан воздух, налита ртуть. Это — катод. Второй электрод — анод — спрятан в стеклянном рукаве — отростке. Сделано это для того, чтобы на него не попадали брызги ртути, когда в колбе возникнет дуга. Рядом с катодом есть еще один электрод. Это зажигающий, или дежурный, электрод.

Когда на главные электроды подано переменное напряжение, разряд в колбе не начинается — нет паров ртути, которые могли бы переносить заряды. Для зажигания дуги нужно наклонить колбу так, чтобы ртуть соединила катод и зажигающий электрод. Во время этого короткого замыкания возникает разряд между катодом и дежурным электродом. От нагрева появляются пары ртути, и разряд перекидывается на анод. Это и нужно для начала работы выпрямителя.

Выпрямитель — это дверь, открывающаяся в одну сторону. К его электродам подводится переменное напряжение, но ток между этими электродами не мечется туда и обратно, а протекает только в одном направлении. Это бывает тогда, когда на аноде оказывается плюс, а на катоде минус, то есть в положительный полупериод переменного тока.

Выпрямленный ртутным выпрямителем ток хоть и течет в

одну сторону, но по своей величине постоянно пульсирует, меняется. Чтобы это ликвидировать, «пригладить» ток, сделать его ровным, применяют специальные устройства — фильтры. Простейший фильтр состоит из катушки индуктивности, через которую проходит весь ток, и конденсатора, включенного параллельно выходным зажимам выпрямителя.

«Исправленный» фильтром постоянный ток расходуется затем по назначению.

Возможно, вам придется услышать слово «игнитрон». Что это за прибор?

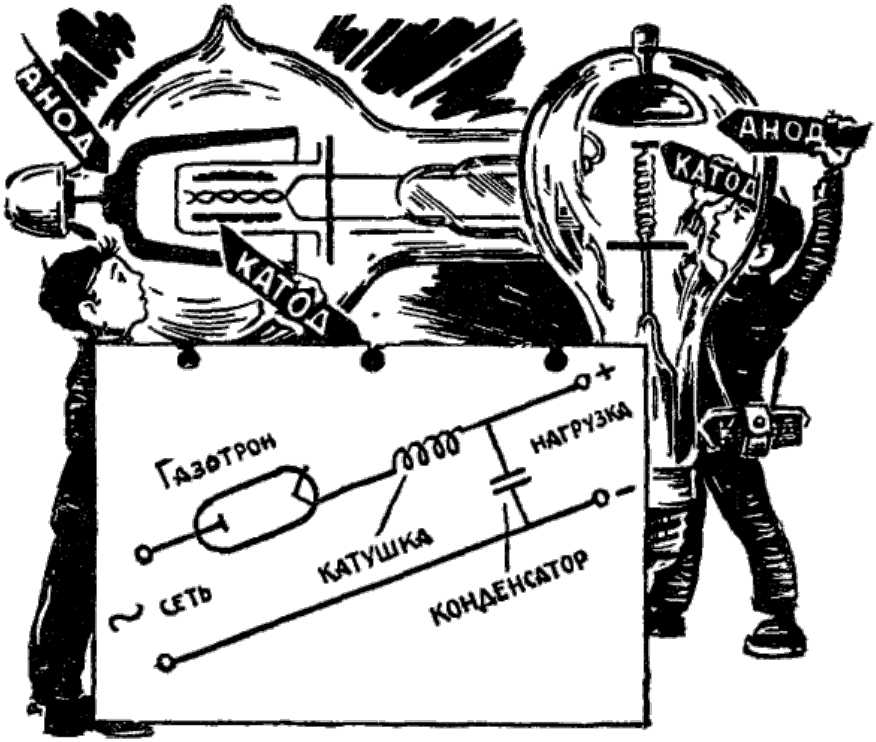
Это ртутный выпрямитель, обычно довольно мощный, в котором зажигание разряда происходит особенно. У игнитрона нет отдельного рукава для поджигающего электрода. Это электрод, изготовленный из карборунда, «плавает» в ртути. Карборунд — плохой проводник тока. Когда выпрямитель подключают к сети и на поджигающий электрод поступит напряжение, между ним и ртутью вспыхивает дуга, которая испарит часть ртути и даст возможность выпрямителю работать нормально.

Таким образом, игнитрон не нужно наклонять в начале работы, как это делают с обычным ртутным выпрямителем.

Ртутные выпрямители и игнитроны, внутри которых неутомимо работает дуга, применяются тогда, когда нужно получить целые реки выпрямленного тока. Этот ток должен быть в состоянии вращать колеса трамваев и электропоездов, плавить глинозем и отбирать у него алюминий, поднимать грузы на многометровую высоту.

В устройствах, в которых нет нужды в таком мощном постоянном токе, применяются другие выпрямители. Среди многочисленного семейства маломощных выпрямителей можно встретить и плазменные. В этих выпрямителях трудится уже не дуга, а более экономный тлеющий разряд или дуга низкого напряжения.

Широкое распространение получили плазменные выпрямители — газотроны.

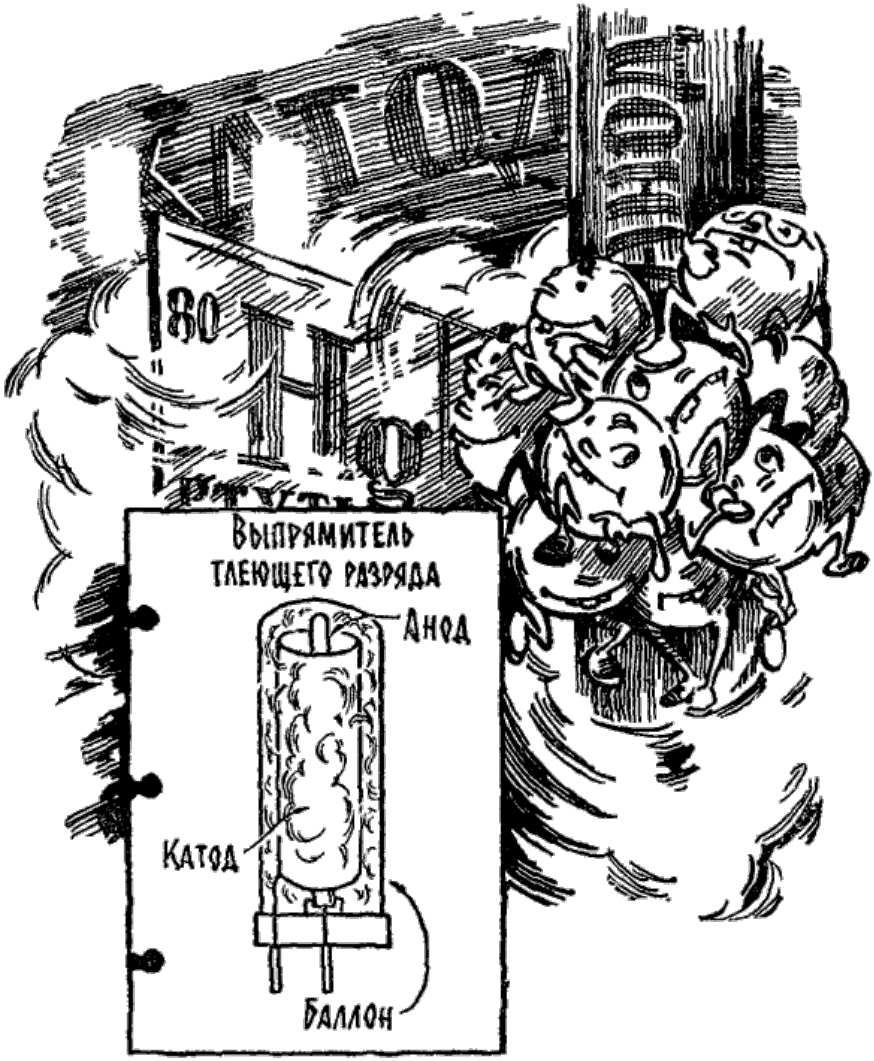


В стеклянном баллоне газотрона под небольшим давлением находятся пары ртути или инертные газы. Катод у этого прибора особенный: в нем имеется спираль, которая его сильно нагревает. Благодаря такому подогреву из катода вылетает много электронов.

Когда на аноде газотрона оказывается плюс, эти электроны устремляются к аноду, ионизируют газ, и через лампу идет ток. В обратный полупериод, когда анод оказывается заряженным отрицательно по отношению к катоду, тока нет, так как электроны тормозятся электрическим полем.

И здесь, как мы видим, разряд может возникать только в виде отдельных импульсов, при этом ток течет лишь в одну сторону.

Кроме газотронов, есть еще выпрямители переменного тока, в которых тоже «работает» низковольтная дуга. Это тиратроны. От газотронов они отличаются тем, что в них между катодом и анодом помещена металлическая сетка. Заряжая эту сетку отрицательными зарядами разной величины, можно изменять начало возникновения разряда, или, иными словами, раньше или позже открывать «дверь» — лампу для пропускания зарядов. Чем меньший отрезок времени через тиратрон течет ток, тем меньшей величины будет выпрямленное напряжение.



Это обстоятельство позволяет регулировать величину напряжения.

Тиратронные выпрямители широко применяются в радиотехнике, например, в мощных передатчиках.

Так держать!

Вспомнился мне один случай.

Пришел ко мне как-то сосед-фотолюбитель и пожаловался на странное поведение приборчика, который он сконструировал. Этот электронный прибор называется дозатором времени.

Предположим, для получения хорошего снимка требуется, чтобы лампа фотоувеличителя была включена в течение семи секунд. В темноте трудно следить за секундной стрелкой часов. Эту заботу берет на себя дозатор. Фотограф устанавливает переключатель на цифру «7» и включает фотоувеличитель. В дозаторе тотчас начинает заряжаться конденсатор. Как только напряжение на конденсаторе достигнет нужной величины, схема срабатывает и реле мгновенно разрывает электрическую цепь.

Лампа фотоувеличителя гаснет.

Но у моего соседа дозатор времени преподносил сюрпризы. Если им пользовались днем, он работал точно. Вечером же он почему-то «растягивал» секунды, выключал лампу позднее, чем это было нужно. А дело заключалось в том, что на работу дозатора времени влияло поведение напряжения электрической сети. Днем сравнительно мало берется электрического тока из сети, напряжение ее нормальное — 127 вольт. Вечером зажигаются тысячи электроламп, сотни приемников и других устройств. Напряжение электрической сети падает. На глаз это падение почти незаметно. А точные приборы, такие, как дозатор времени, начинают работать более лениво, допускают ошибки.

Поэтому соседу-фотолюбителю я посоветовал поручить заботиться о нормальной работе дозатора плазме.

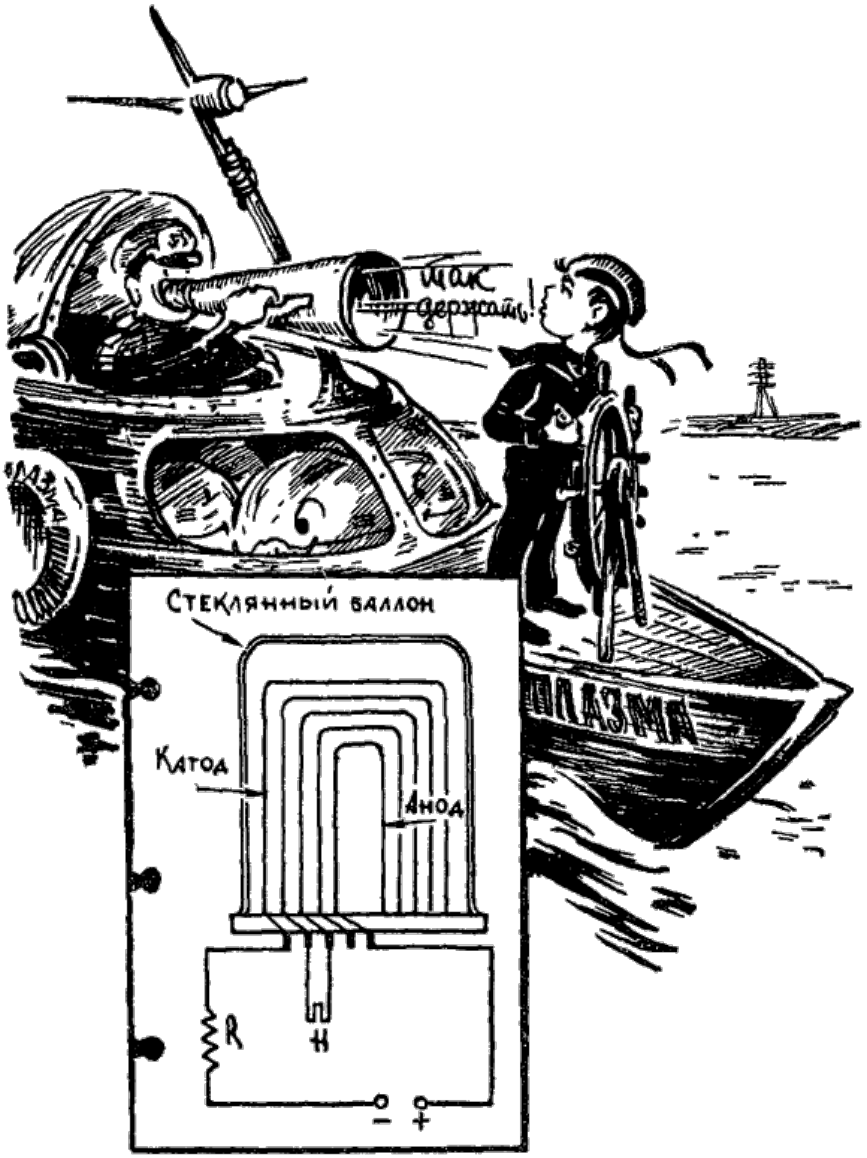
Он так и сделал. Купил в магазине радиолампу — стабилизатор напряжения, установил ее в своем дозаторе, и все пошло хорошо.

Стабилизатор напряжения, или стабилитрон, — это газоразрядная лампа, внутри которой трудится тлеющий разряд.

Устройство ее несложно. В стеклянном баллончике смонтировано несколько тонких металлических цилиндров разных диаметров, цилиндры вставлены друг в друга. Вместо воздуха в баллон накачан газ неон.

Посмотрим, как стабилитрон поддерживает напряжение на одном уровне.

Это легко понять из рисунка, на котором показан разрез стабилитрона и дана схема его включения.



Как видно из рисунка, стабилизируемое напряжение подается на внутренний и наружный цилиндрики. В лампе возникает тлеющий разряд.

Расстояние между цилиндрами стабилитрона невелико, поэтому положительного столба разряда нет, а существуют только катодные части разряда. В этом отношении стабилитрон похож на плазменные источники света, использующие катодное свечение разряда.

Ввиду того что в цепь включено сопротивление, сила тока разряда невелика. При этом свечением покрывается не весь катод, в данном случае наружный цилиндрик, а только часть его.

Если увеличить ток через стабилитрон, то увеличится и площадь свечения катода. Напряжение же между катодом и анодом останется прежним. Таков закон тлеющего разряда. В науке он называется законом постоянства нормального катодного падения потенциала.

Нагрузка — а ею могут быть отдельные радиолампы, обмотки реле и т. д. — подключается к двум внутренним цилиндрикам. На схеме она обозначена буквой «Н». В нагрузку ответвляется часть тока, протекающего через стабилитрон.

Ввиду того что катодное падение напряжения постоянно и не зависит от внешних условий, этот ответвляемый ток по своей величине не меняется. Заряжайте этим током конденсатор дозатора времени, и он не будет реагировать на скачки напряжения, подаваемого на стабилитрон.

В дозаторе времени конденсатор заряжается постоянным током (переменным током конденсатор заряжать нельзя). Поэтому там стабилизируется, держится на одном уровне напряжение, которое дает выпрямитель, смонтированный в этом же приборе.

Но стабилитроны неплохо работают и на переменном токе, несмотря на то что электроды при этом меняются своими ролями.

«Так держать!» — эту команду хорошо знают рулевые кораблей. Она означает, что корабль должен двигаться точно в заданном направлении.

Плазма тоже исправно подчиняется такой команде. Она «гасит» все прыжки напряжения и «выдает» напряжение строго определенной величины, причем выполняет свои обязанности автоматически.

Как считают космические частицы

Более полувека назад в физических лабораториях появился интересный прибор. Он без вмешательства человека подсчитывал мельчайшие заряженные частицы, которые испускали уран, радий и другие радиоактивные вещества. Знать количество таких частиц для ученых было очень важно: по нему можно было определить мощность излучения и то, с какой скоростью совершается процесс распада ядер.

С годами прибор усовершенствовался и стал верным помощником не только физиков, но и химиков, металлургов, биологов, врачей.

Несмотря на то что этот прибор по устройству очень прост, он помог подсчитать число космических частиц — таинственных пришельцев из глубин Вселенной.

В стеклянной трубке счетчика, названного по имени изобретателей счетчиком Гейгера — Мюллера, вдоль оси натянута тонкая металлическая нить. Она проходит внутри цилиндрика, сделанного тоже из металла. Трубка наполнена смесью аргона и паров спирта. К металлической нити и цилиндру подключен источник высокого напряжения.

Таким образом, имеются все условия для возникновения электрического разряда между нитью — анодом и цилиндром — катодом. Однако сам по себе разряд в этой трубке не возникает.

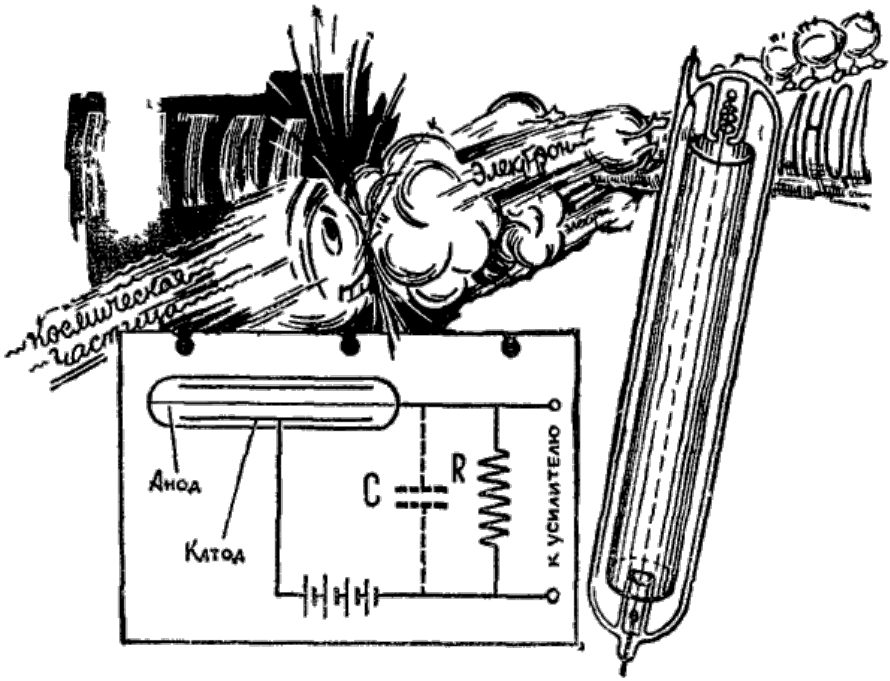
Почему?

Мало́ напряжение источника. И сделано это специально.

Но вот сквозь стекло в трубку влетает какая-либо заряженная частица, например, космическая. Обстановка в разрядном промежутке сразу меняется. Быстролетящая частица, сталкиваясь с молекулами газа, выбивает из них электроны, то есть ионизирует молекулы.

Между электродами трубки существует довольно мощное электрическое поле. Силы этого поля подхватывают рожденные частицей электроны и устремляют их к аноду — нити. Происходит дальнейшая ионизация газа, возникают лавины электронов. Положительно заряженные частицы — ионы — движутся навстречу электронам — к цилиндру-катоду.

Таким образом равнодушный ко всему газ откликнулся электрическим разрядом на ворвавшуюся в него заряженную частицу.



Эти процессы совершаются в разрядной трубке почти мгновенно: лавина электронов достигает нити за одну стомиллиардную долю секунды, а положительные ионы собираются у стенок цилиндра-катода в течение стомиллионной доли секунды. Но этого времени достаточно, чтобы усилительная радиолампова схема, пристроенная к разрядной камере, сработала и зажгла бы потом неоновую лампочку, сигнализирующую о попадании заряженной частицы в счетчик.

Часто вместо неоновой лампочки ставят цифровой нумератор, который цифрами показывает общее число заряженных частиц, попавших в счетчик.

Счетчик Гейгера — Мюллера производит только подсчет заряженных частиц. Определить же, какие частицы — электроны, протоны или альфа-частицы, — не удается. Объясняется это тем, что между нитью и цилиндром приложено сравнительно высокое напряжение. Любая заряженная частица лишь начинает процесс ионизации. Дальнейшая работа совершается силами электрического поля. Поэтому «разнокалиберные» частицы создают сигналы одинаковой величины.

Но иногда бывает важно не только подсчитать число заряженных частиц, но и заглянуть в их паспорт, узнать, что это за частицы.

С этой задачей хорошо справляются так называемые пропорциональные счетчики заряженных частиц. По устройству

они похожи на счетчики Гейгера — Мюллера, только напряжение между электродами в них значительно меньше.

Если в разрядный промежуток ворвется заряженная частица большой мощности, то на выходе счетчика возникнет более заметный электрический сигнал. Более «ленивая» частица произведет меньшую ионизацию газа, и сигнал, вызванный ею, будет меньше.

Расшифровывая записанные на фотопленку сигналы, ученые легко определяют, какие частицы побывали в счетчике.

«Чудо» XX века — искусственные спутники Земли и космические ракеты не отправляются в космос без таких приборов. Добросовестная плазма, возникающая в этих приборах-счетчиках, неутомимо подсчитывает число космических частиц там, где пролетает спутник, и позволяет определить интенсивность космического излучения. Ценность этой работы определяется тем, что ученым не нужно учитывать ослабляющее действие атмосферы, ведь счетчики находятся за пределами ее!

Замечательный прибор можно встретить и в глухой тайге или в горах у геологов. Если на пути геологов попадутся урановые или другие радиоактивные руды, то счетчик немедленно «сообщит» об этом. Установив чувствительный счетчик на самолет, можно за короткое время обследовать большой район, точно установить, есть или нет в этом районе радиоактивные руды.

Хорошими помощниками стали счетчики заряженных частиц для биологов.

Ученые, изучающие, например, вопрос, как растения усваивают различные удобрения, вносят в землю вместе с обычным фосфором и радиоактивный и определяют количество этого элемента, взятого растением из почвы.

Для этого достаточно поднести растение к счетчику и подсчитать число заряженных частиц, которое пошлет в прибор это растение.

Один ученый применил радиоактивные удобрения для почвы, на которой рос табак. Когда человек выкурил папиросу из этого табака, то обнаружилось, что никотин тоже оказался радиоактивным и очень скоро проник во все части тела и органы человека. По телу его разнесла кровь.

Это еще раз доказало, что яд, заключенный в табаке, воздействует на организм в целом, он не щадит ни один орган человека.

Ядерная артиллерия

О том, что ядра атомов имеют сложное устройство, наука узнала давно.

В самом конце XIX века французский ученый А. Беккерель проделал такой опыт: на фотопластинку, завернутую в темную бумагу, он положил кусок урановой руды. Через несколько дней ученый фотопластинку проявил. Каково же было его удивление, когда он обнаружил, что фотопластинка оказалась засвеченной!

Проделав десятки подобных опытов, Беккерель пришел к правильному выводу, что уран излучает особые лучи, способные проходить через различные преграды.

Позднее такие вещества были названы радиоактивными.

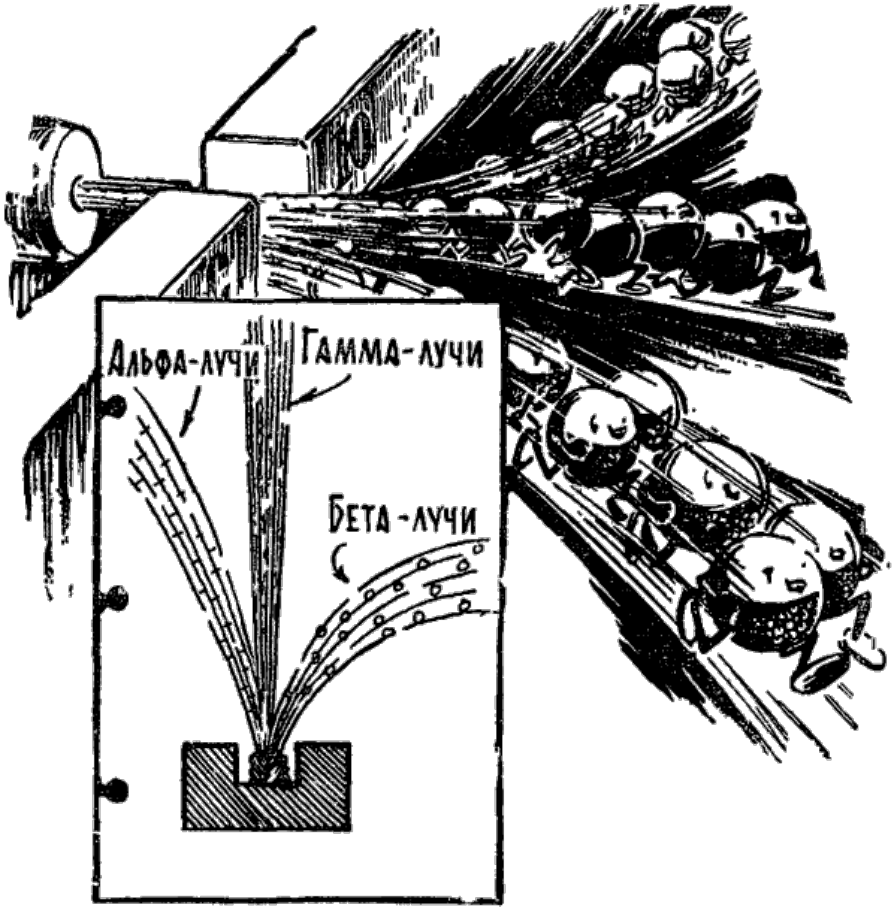
Вскоре два других ученых — Мария и Пьер Кюри — нашли новые радиоактивные элементы — полоний и радий. Их они отыскали в урановой руде.

Тайна невидимого и очень сильного излучения веществ приковала внимание многих ученых. Началось упорное его изучение.

Когда на пути лучей создали магнитное поле, то под действием его сил излучение разделилось на три «хвоста». «Равнодушными» к магнитным силам оказались гамма-лучи. Они прошли прямо, не отклонившись. Позднее выяснилось, что это электромагнитные волны, длина которых намного меньше длин радио- и рентгеновских волн. Вправо ушли бета-лучи. Это поток электронов, «выстреленных» почти со скоростью света. Наконец, влево отклонились частицы, названные альфа-лучами. Это тяжелые, положительно заряженные частицы. Их масса равна массе атомов гелия.

В атомной физике энергию частиц выражают в особых единицах — электрон-вольтах. Это вполне конкретная мера энергии. Она равна работе, которую совершает электрон при движении в электрическом поле. Если электрон переместится из одной точки поля в другую и разность потенциалов между точками равна одному вольту, то этот электрон обладает энергией в один электрон-вольт.

Альфа-лучи — частицы с большим запасом энергии. Эти невидимые снаряды, выбрасываемые радиоактивным веществом, имеют энергию до девяти миллионов электрон-вольт.



Обнаружив существование таких мощных снарядов, ученые решили попробовать обстреливать ими ядра атомов. Ведь только разрушив ядро, можно узнать, из чего оно состоит. Об этом расскажут получившиеся «осколки» ядра.

В 1919 году пришел первый успех. Английский физик Резерфорд сумел попасть альфа-частицами в ядра атомов и наблюдать первую искусственную ядерную реакцию. Резерфорд бомбардировал атомы азота и других элементов. Опыты этого ученого показали, что заряженные частицы могут быть прекрасным инструментом для «вскрытия» ядер.

Потом ученые отыскали еще один вид снарядов, способных разрушить атомное ядро. Это были космические лучи.

Посланцы космоса помогли ученым создать новые ценные методы изучения ядер веществ. Однако и они вскоре не стали удовлетворять покорителей микромира. Дело в том, что космические частицы сильно ослабляются тысячекилометровой толщей воздушной оболочки Земли, которую пробивают далеко не все частицы. Поэтому космическая частица нужной энергии —

не частый гость в лаборатории ученого.

А нельзя ли получить заряженные частицы-снаряды собственного производства? — думали ученые. Ведь ядру все равно, какая частица в него ударится — естественная или искусственная, — лишь бы она была достаточно быстрой и увесистой.

И вот здесь пришлось вспомнить о плазме.

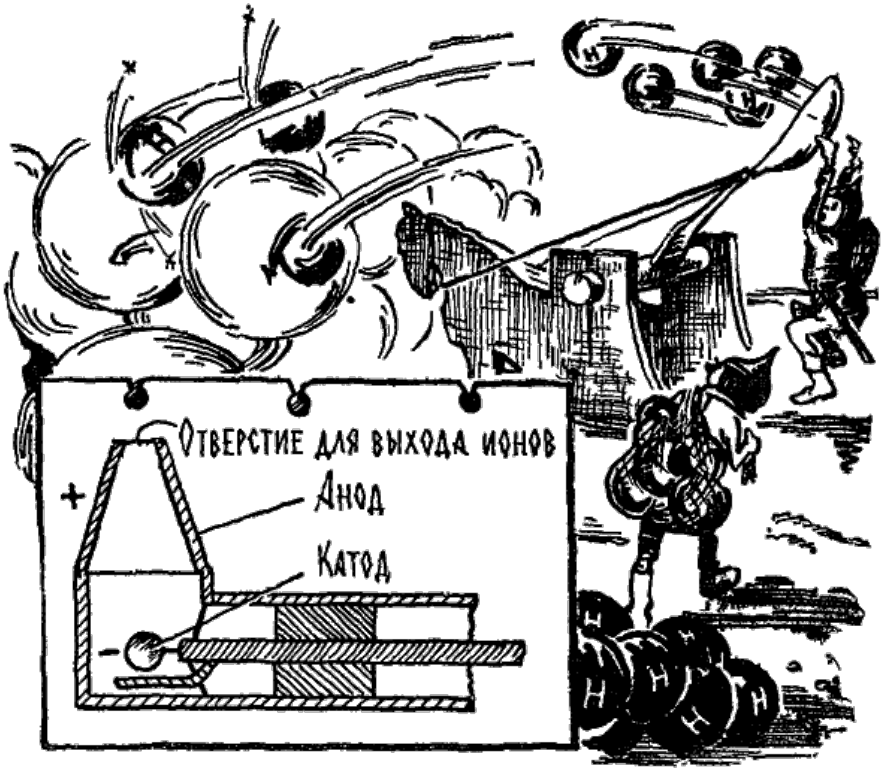
Оказалось, что без нее нельзя построить почти ни один ускоритель элементарных частиц — так назвали ученые мощные катапульты, стреляющие по ядрам.

Чтобы эти «катапульты» работали, ускоряли тяжелые заряженные частицы, нужно эти частицы иметь. А берутся они из плазмы.

Вам, наверно, приходилось слышать такие названия — «линейный ускоритель», «циклотрон», «синхротрон», «фазотрон» и, наконец, «синхрофазотрон»?

Все это названия установок, служащих для разгона положительно заряженных частиц — ионов, родившихся в плазме.

На стр. 152 показан разрез «ионной фабрики» циклотрона. Предположим, данный ускоритель ведет обстрел ядрами обыкновенного водорода — протонами. В этом случае в ионном источнике находится газообразный водород при небольшом давлении. Разрядная камера имеет форму усеченного конуса и является анодом. Вторым электродом-катодом служит массивная вольфрамовая спираль. Когда между спиралью и конусом создается высокое напряжение, в камере возникает плазма. Электроны устремляются к катоду-спирали, а положительно заряженные ионы — ядра водорода — к аноду-конусу. Конец конуса обрезан, и через образовавшееся отверстие ионы попадают в разгонную камеру ускорителя. Там на заряженную частицу воздействуют мощным электрическим и магнитным полем и разгоняют ее до нужной скорости.



В циклотроне ионы движутся по окружности и с каждым кругом увеличивают скорость. Разгоняясь, они оказываются все дальше и дальше от центра камеры. Когда заряженные частицы приобретут энергию в несколько миллионов электрон-вольт, они выпускаются наружу и устремляются подобно камню из пращи в мишень.

Самые мощные заряженные частицы — протоны — получаются в синхрофазотроне. Недалеко от Москвы, в Дубне, построен синхрофазотрон, в котором протоны приобретают энергию в десять миллиардов электрон-вольт. Перед такими «снарядами» не в состоянии устоять ни одна «ядерная крепость».

Но было бы неправильно думать, что плазма работает в ускорителях только как «поставщик» заряженных частиц, хотя и эта роль очень важна и ответственна.

Синхрофазотрон в Дубне «выстреливает» протонами по пять залпов в каждую минуту. При этом каждый «залп» состоит более чем из миллиарда «снарядов».

Чтобы осуществить это, потребовалось построить гигантский электромагнит весом тридцать шесть тысяч тонн! Этот электромагнит расходует ни много ни мало, сто сорок тысяч киловатт электроэнергии! Не всякий город потребляет столько электричества.

Синхрофазотрону нужны целые реки тока, причем тока не переменного, а постоянного. Поэтому пришлось построить специальный длинный зал и установить в нем мощные ртутные выпрямители.

Как видите, и здесь не смогли обойтись без плазмы. Немало плазменных устройств работает в системе управления и автоматики, которой оснащен синхрофазотрон, а также в сложной исследовательской аппаратуре, с помощью которой ученые изучают всевозможные ядерные реакции.

В плену у коронного разряда

В счетчике элементарных частиц «впряжен» в работу коронный разряд. Этот разряд на неуловимо малую долю секунды возникает вокруг тонкой нити — анода.

Почему именно вокруг тонкого проводника — нити — возникает коронный разряд, а на другом электроде — цилиндре — разряда нет?

Ответить на этот вопрос нетрудно.

Коронный разряд возникает тогда, когда коронирующий электрод либо заострен, либо имеет радиус кривизны значительно меньший, чем расстояние между электродами. В счетчике Гейгера — Мюллера это условие выполнено: диаметр нити-электрода измеряется миллиметрами, а расстояние от нити до внутренней стенки цилиндра — сантиметрами. Электрическое поле вокруг тонкой проволочки-электрода сильно искажено. Именно здесь, в этом переплетении электрических силовых линий, и происходит возбуждение молекул газа, именно здесь возникают ионы.

За пределами светящегося венчика — короны ионизации газа нет, там движутся только ионы, которые образовались в пламени короны. Они-то и создают в разрядном промежутке ток, регистрируемый чувствительным радиоустройством.

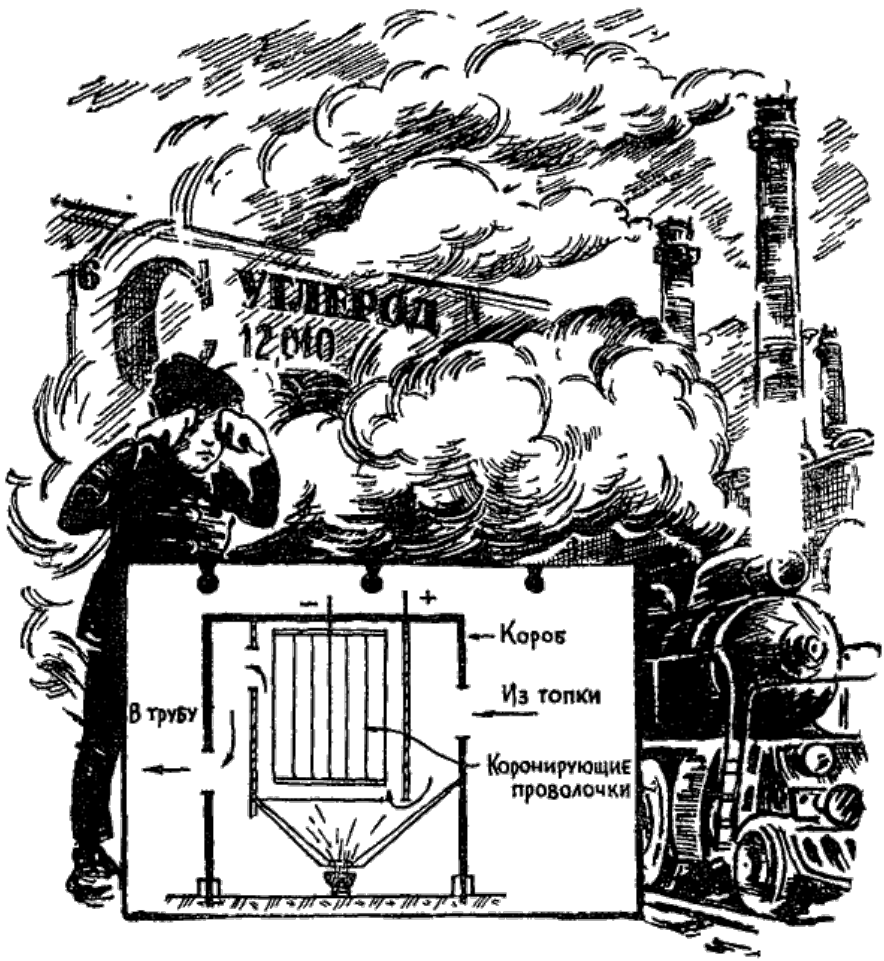
Таким образом, разница между коронным разрядом и, например, тлеющим налицо: в коронном разряде ток создают только тяжелые, положительные частицы — ионы, в тлеющем имеется два встречных потока заряженных частиц — ионов и электронов.

Особенности коронного разряда хорошо удалось использовать в технике. На коронный разряд возложили, например, обязанности… трубочиста.

Многие из читателей знают, какие неудобства приносят жителям дымящиеся трубы фабрик и заводов. Сажа, частички золы и топлива загрязняют воздух, вредят здоровью людей.

Государство не жалеет средств, чтобы сделать воздух городов и рабочих поселков чистым, здоровым. Устанавливаются дорогостоящие аппараты, которые не должны выпускать из фабричных труб сажу, копоть, золу. Типов таких установок сконструировано немало, среди них имеются и коронные «трубочисты».

К фабричной или заводской трубе приставлен длинный железный короб — разрядная камера. Вдоль оси короба натянуто несколько тонких проволочек. Короб подключен к плюсу, а проволочки — к минусу источника высокого напряжения. Когда этот источник включен, возникает коронный разряд на проволочках, хотя они, в отличие от счетчика Гейгера — Мюллера, соединены не с плюсом, а с минусом.



Такое изменение подключения электродов сделано не случайно.

Когда по трубе пойдет горячий воздух из топки с миллионами частичек сажи, золы, несгоревшего топлива, то между проволочками и стенками короба могут проскакивать искры. Ведь напряжение между ними равно десяткам тысяч вольт! Если проволочка соединена с отрицательным полюсом, а короб с положительным, искры не возникают. Коронный же разряд зажигается и делает нужную работу.

Вы знаете, что в коронном разряде, в плазме, окружающей коронирующий электрод, возникает много ионов. В счетчике Гейгера — Мюллера это были положительно заряженные ионы, здесь же, в электрофильтре, рождаются отрицательные ионы. Около каждой проволоки-электрода ежесекундно возникают целые полчища электронов. Эти электроны «прилипают» к нейтральным молекулам воздуха и превращают их в отрицательные ионы.

Силы электрического поля неудержимо влекут их к противоположному полюсу.

Ионы движутся к стенкам короба, чтобы отдать там свой заряд.

Но в пространстве между металлической проволокой и стенками короба густой толпой мчатся частицы сажи, золы, несгоревшего топлива. Они хотят вырваться из трубы наружу. Однако это им не удается. Отрицательные ионы «садятся» на эти пылинки и берут их «в плен».

Хотя ионы — карлики в сравнении с «огромными» частицами сажи или золы, но они оказываются прекрасными буксирами. Невидимые малютки-ионы дружно «везут» к стенкам железного короба все, что выбрасывает топка фабрики. Стенки камеры электрофильтра покрываются слоем сажи и золы. Чтобы сбросить эту добычу ионов в бункер, по коробу периодически постукивает молоточек, приводимый в движение крохотным электромотором.

Оборудованная таким электрофильтром труба не дымит и не загрязняет воздух.

На химических заводах электрофильтры помогают улавливать из воздуха крупинки ценных металлов и другие химические продукты и снова пускать их в производство. Раньше эти продукты просто улетали в трубу. На некоторых цементных заводах электрофильтры не дают улететь в трубу цементной пыли.

На этом же принципе работает еще одно интересное устройство — электросепаратор.

Многие из вас, наверно, видели молочный сепаратор —

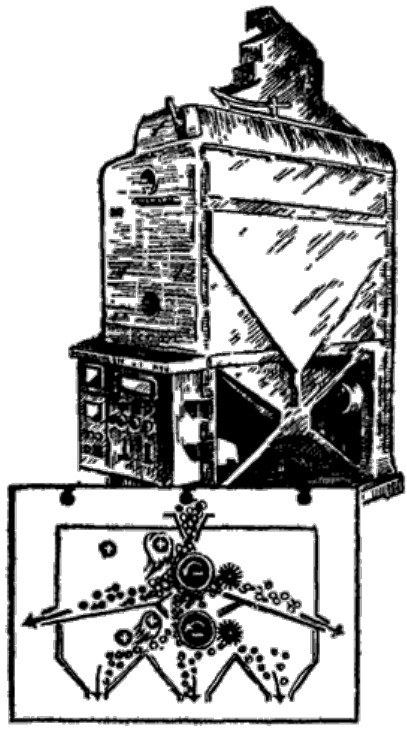
небольшую машину, которая отделяет сливки от обрата. Без нее не обходится ни один маслозавод.

В молочном сепараторе электромотором или вручную массу молока заставляют вращаться. Центробежные силы отбрасывают обрат к стенкам, а сливки, как более легкая часть молока, собираются в середине, ближе к центру сепаратора. По трубочке они вытекают наружу, обрат же выливается через другую трубочку.

Часто бывает нужно рассортировать по сортам и твердые измельченные материалы. Например, в металлургическом производстве. Сильные машины истирают в порошок какую-либо руду. Есть в этой пыли и частицы самых различных размеров и веса. Их нужно разделить — крупные пылинки поместить в один бункер, средние в другой, а самые мелкие — в третий. Делается это для того, чтобы потом легче было выделить полезные вещества.

Способов сортировки придумано немало. У нас в стране этой цели заставили служить и коронный разряд, с которым вы уже знакомы.

На рисунке показан разрез электросепаратора.



Коронирующие провода расположены один над другим в горизонтальной плоскости. Рядом с ними вращается большой металлический барабан. Измельченную породу загружают в

бункер, и она попадает между проводами и барабаном. Ионы-буксиры подхватывают частицы этой пыли и влекут их к барабану.

Наиболее крупные пылинки, соприкоснувшись с барабаном, быстро отдают ему свой заряд и тотчас отскакивают и попадают в приемный бункер. Более мелкие частицы держатся на вращающемся барабане дольше и затем попадают в соседний бункер. Самые мелкие пылинки так плотно пристают к гладкой поверхности барабана, что готовы вращаться с ним сколько угодно. Но их насильно разлучают с барабаном. Это делает специальная щетка, расположенная над третьим бункером.

Как видите, плазма помогла просто и надежно рассортировать крупинки вещества по их размерам. Для более точного разделения сыпучих материалов на практике часто применяется несколько ступеней такой сортировки.

Коронный громкоговоритель

Приходилось вам заглядывать внутрь современного большого радиоприемника?

Если приходилось, то вы, наверно, обратили внимание на то, что внутри него установлен не один динамический громкоговоритель, а два, три или даже четыре. Причем некоторые большие, мощные, а другие совсем маленькие.

Для чего устанавливаются в ящик приемника несколько «разнокалиберных» громкоговорителей?

Ответ напрашивается сам: чтобы обеспечить более высокое качество звучания.

Громкоговоритель — это такое устройство, которое преобразует электрические колебания в колебания воздуха, в звук. С этой задачей разные громкоговорители справляются по-разному.

Большой громкоговоритель более добросовестно воспроизводит низкие, басовые звуки. Высокие звуки он воспроизводит очень плохо. Поэтому приходится помещать в ящик маленькие громкоговорители. Радиолюбители называют их «пищалками». Они не могут издавать басовых звуков, зато хорошо воспроизводят высокие.

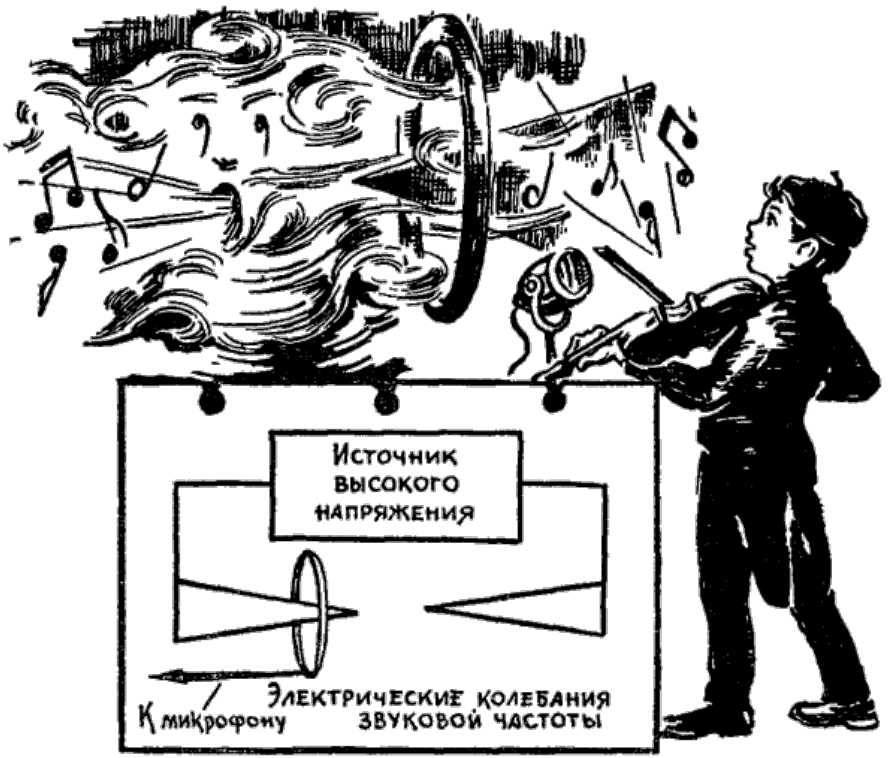
И все же, несмотря на такое усложнение и удорожание схемы, радиоспециалисты считают, что звучание приемников, магнитофонов и других звуковоспроизводящих устройств

нуждается в улучшении. Поиски ведутся в различных направлениях.

Интересны опыты, в результате которых ученым удалось заставить звучать… плазму.

Начались эти опыты давно.

В грозный 1941 год в Ленинграде советский инженер Г. И. Бабат получил «облачко» плазмы, как бы повисшее в воздухе. Плазма жила благодаря энергии переменного электромагнитного поля частотой в многие миллионы колебаний в секунду. Однажды инженер Бабат на этот высокочастотный ток, питающий плазму, наложил электрические колебания, которые заставляли звучать репродуктор, установленный тут же в лаборатории.



Случилось чудо: светящийся кусочек плазмы запел. Он пел песню, передававшуюся по радио, которая призывала советский народ разгромить врага.

Так плазма впервые выступила в новой, необычайной для нее роли. Она не хуже, чем твердый и плотный диффузор громкоговорителя, заставила колебаться воздух.

Как это плазме удалось, понять нетрудно. Плазма чутко реагирует даже на самые незначительные изменения тока, который ее создает. Если количество, объем плазмы будут непрерывно меняться, то окружающий воздух станет получать толчки; их мы ощущаем как звук.

Диффузор громкоговорителя тоже дрожит под действием электрических токов, которые возникают в его звуковой катушке. Но чувствительность диффузора к различным частотам неодинакова; он хорошо воспроизводит средние звуковые частоты, а такие звуки, как, например, писк комара или высокие ноты, издаваемые скрипкой, он повторяет неохотно, чуть слышно.

Плазма таким недостатком не обладает. Она одинаково хорошо воспроизводит электрические колебания любой частоты.

Первые плазменные громкоговорители уже созданы. Один из них показан на рисунке (стр. 158). В нем у острия электрода горит коронный разряд. Расположенное тут же металлическое кольцо играет роль звуковой катушки. Если на него подать электрические колебания звуковой частоты, то плазма в такт им начнет звучать.

Можно не сомневаться, что «поющее пламя» со временем займет свое место среди приборов и аппаратов, украшающих быт человека.

Ионное травление

Если вы захотите узнать, что такое ионное травление и для этого заглянете в Большую советскую энциклопедию, то вас постигнет неудача — в энциклопедии вы не найдете объяснения. Причина простая: и термин «ионное травление», и прибор, который может делать этот пока непонятный вам вид травления, появились совсем недавно. Потому они и не попали еще в энциклопедию.

В продолжение ста тридцати лет люди имели дело с обычным химическим травлением. История химического травления как метода для определения структуры металлов началась с работ замечательного русского ученого-металловеда Павла Петровича Аносова. Он брал полированную пластинку металла и опускал ее в раствор соляной или серной кислоты. Кислота разъедала металл в одних местах больше, в других меньше. Гладкая поверхность превращалась в затейливый узор.

Рассматривая этот узор в микроскоп, металлург расшифровывал свойства металла или сплава, не прибегая к другим испытаниям.

Травление металлов и изучение узоров под микроскопом стало уже давно важнейшей частью металлургического производства.

Но в последние годы на пути этого хорошо освоенного метода появились трудности.

Химики, например, все чаще стали заказывать металлургам такие сплавы, которые были бы совершенно «равнодушны» к кислотам. Металлурги выполняли заказ, создавали десятки опытных сплавов. Как их испытать? Как определить, какой лучше? Подвергнуть травлению кислотой? Но ведь это кислотоупорные сплавы, на них любая кислота почти не действует.

Машиностроители потребовали себе сплавы с алюминием, а также особо прочные сплавы. Ряду отраслей производств понадобились сплавы, выдерживающие высокую температуру. Все они, несмотря на всяческие ухищрения, оказались очень неподатливыми для исследования при помощи химического травления. Простой и удобный метод оказывался здесь бесполезным.

Тогда металлурги обратились за помощью к ученым-физикам. Те обстоятельно изучили поставленную задачу и пришли к выводу, что выйти из положения можно, если прибегнуть к помощи… плазмы. Исследования возглавил профессор Московского университета имени М. В. Ломоносова Григорий Вениаминович Спивак. Под его руководством была создана первая установка для ионного травления, названная сокращенно «УИТ».

Профессор Спивак решил использовать одну особенность тлеющего разряда, которая на первых порах доставляла физикам немало неприятностей.

Вы уже знаете, что тлеющий разряд — один из наиболее замысловатых. В трубке отчетливо различаются несколько разнородных участков — светлых и темных. Потоки заряженных частиц — электронов и ионов — «преодолевают» эти участки по-разному. Так, в темном катодном пространстве, где очень велики электрические силы, они особенно сильно ощущают постороннее воздействие. Легкие электроны, движущиеся к аноду, покидают темное катодное пространство быстрей, чем тяжелые и массивные положительные ионы, движущиеся навстречу. Поэтому в этом месте разрядной трубки скапливается излишек положительных ионов, названный учеными положительным пространственным зарядом.

«Толпа» положительных зарядов вблизи катода вначале доставляла много хлопот. Обрушиваясь на катод, они с силой бомбили его поверхность. Катод не только нагревался, но и «терял в весе». От катода отлетали мельчайшие частицы, подобно тому, как летят брызги, если бросать в воду камни. «Брызги»

вещества, из которого сделан катод, разлетаясь по трубке, покрывали все вокруг тонким слоем металла и, кроме того, жадно поглощали газ, которым была наполнена трубка.

Таким образом катодное распыление не только разрушало катод, но и лишало трубку газа-наполнителя без которого не может существовать разряд.

Но так же, как сумели заставить служить искру-разрушительницу, так же удалось получать пользу и от катодного распыления.

На первых порах катодное распыление применили как средство для очистки поверхностей электродов от посторонних веществ, пылинок и т. д. Разрядную трубку помещали внутрь катушки индуктивности, питаемой током высокой частоты. В трубке вспыхивал разряд, и все металлические детали попадали под обстрел тяжелых ионов. Ионы мигом снимали с металла тончайший слой и тем самым очищали его поверхность.

Если вблизи катода поместить пластинку слюды или стекла и зажечь в трубке тлеющий разряд, то очень скоро пластинка окажется покрытой тонким слоем металла, из которого сделан катод. Эту пленку отделяют и рассматривают в электронном микроскопе. Это помогает проникнуть в тайны строения веществ.

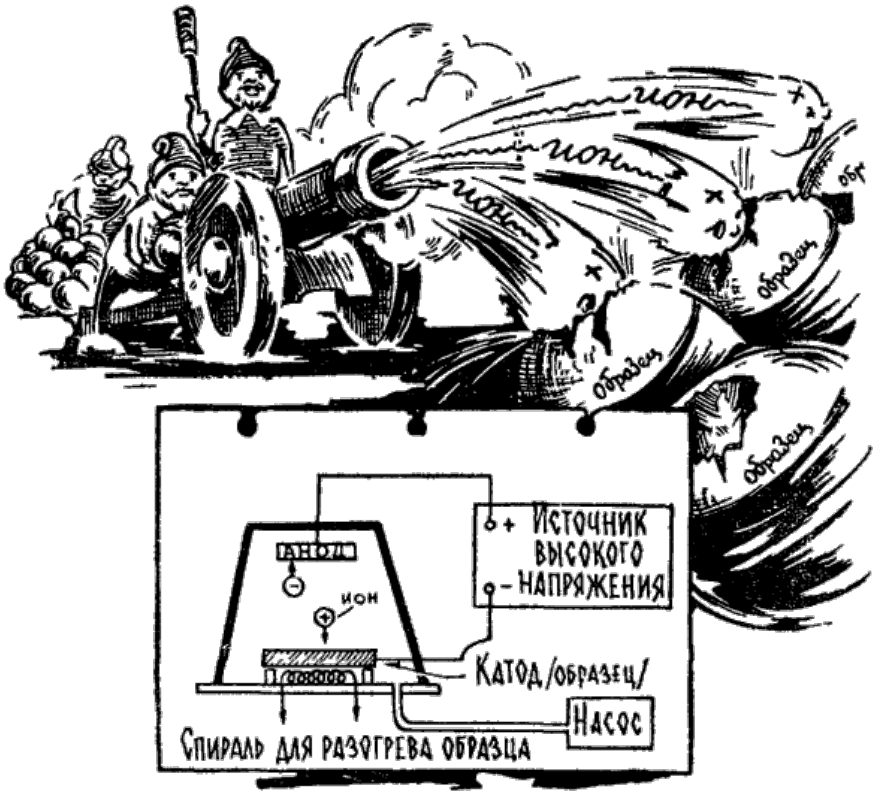
Удалось использовать и поглощение газа распыленными частицами.

Известно, что из радиоламп воздух выкачивается. Но как бы тщательно ни делали эту работу, ничтожное количество газа всегда остается в баллоне. Это сильно сказывается на работе радиолампы.

Распыляя внутри радиолампы разные вещества, жадно впитывающие в себя газ, добиваются того, что внутри баллона получается настоящее безвоздушное пространство.

Профессор Спивак и его сотрудники все это имели в виду, когда приступили к созданию первой УИТ. Много времени потратил небольшой коллектив, пока не была создана установка для ионного травления.

В УИТ для получения «узора» на поверхности металла используется ионная артиллерия. Травление производится под небольшим стеклянным колпаком, из которого выкачан воздух и вместо него впущен неон или аргон. Тщательно отшлифованная пластина исследуемого металла помещается на дне этой куполообразной камеры.



Она служит катодом.

Чтобы ионная бомбардировка проходила быстрее, образец нагревается специальной спиралью до нескольких сот градусов.

Когда образец прогреется, включают высокое напряжение. Между анодом и катодом вспыхивает бледноватое пламя тлеющего разряда. Положительные ионы начинают свою работу.

Ионная артиллерия в УИТ — «оружие» необычайно разрушительной силы. Ни один материал, ни одно вещество не может устоять под его ударами.

Разрушение поверхности образца сильнее идет в более «слабых» точках. В результате появляется затейливый рисунок, который позволяет судить о свойствах и строении полученного сплава.

Только ли сплава? Нельзя ли с помощью этого прибора заглянуть в микроструктуру других веществ?

Оказывается, можно. УИТ так же успешно определяет строение полупроводниковых материалов, керамики, стекла. Раньше это было невозможно. Металломикроскоп, в который обычно рассматривается узор, оставшийся на образце после ионной бомбардировки, дает увеличение в полторы-две тысячи раз. Иногда этого увеличения оказывается мало.

В этом случае вблизи образца, перенесшего бомбардировку

ионов, распыляют кварц. Когда пленка мельчайших частиц кварца покроет все микроскопические углубления и возвышенности «протравленной» поверхности, образец вынимают из-под колпака и отделяют от него кварцевую пленку. Этот «отпечаток» рассматривают затем в электронном микроскопе при огромном увеличении в сотню тысяч раз.

Ионное травление имеет и еще одно преимущество. Раньше нельзя было следить, как изменяется строение, а значит, и свойства металла или сплава при их нагревании. УИТ позволяет заполнить и этот пробел. Проводя травление при различном нагреве образца, можно полнее узнать его «биографию».

Так плазма тлеющего разряда позволила ученым сделать новый замечательный шаг в исследовании структуры веществ, не поддающихся химическому травлению.

Глава X
Гиперболоид создан!

Сложная жизнь возбужденных атомов

В истории науки известны случаи, когда предсказание или открытие того или иного ученого-теоретика долго не находило своего практического применения и никак не использовалось. Оно имело, так сказать, чисто теоретический интерес. И лишь спустя десятилетия люди как бы заново осмысливали его, открывали в нем огромные возможности и с жаром принимались за детальные исследования. Так случилось с одной работой отца теории относительности Альберта Эйнштейна.

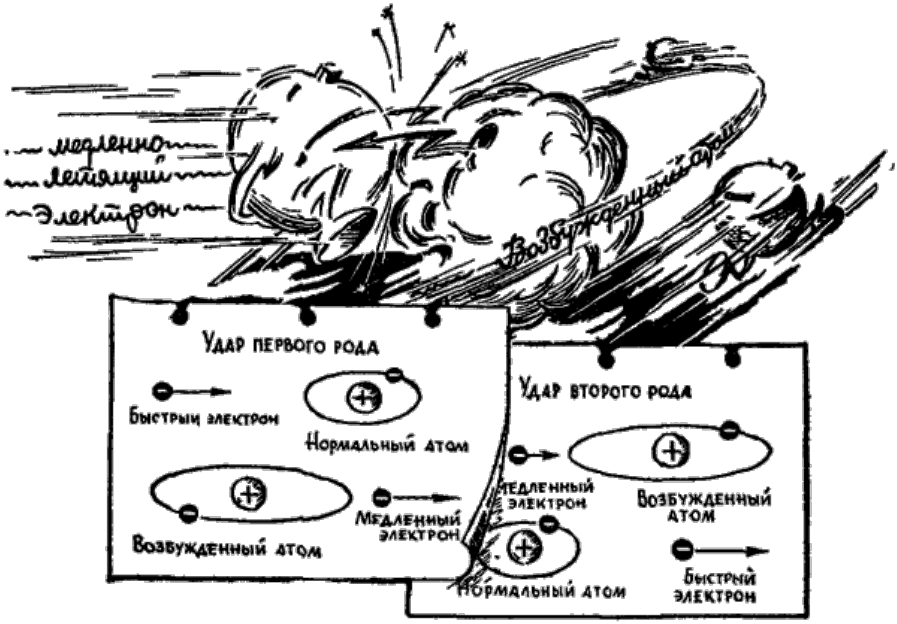
В 1916 году Эйнштейн опубликовал статью, в которой ответил на вопрос, как взаимодействуют между собой свет и вещество. Ученый к имевшимся в то время представлениям добавил, казалось, самую малость: кое-что уточнил. Но именно это привело впоследствии к возникновению нового направления в физике и в технике.

О том, как атомы «стреляют» фотонами, было в общих чертах рассказано в начале книги. Сейчас настало время поговорить об этом подробнее.

Припомним, что происходит в разрядной трубке, в которой заперта плазма.

Электроны, подхваченные электрическими силами, сталкиваются с нейтральными атомами. Они могут их ионизировать, то есть создать новые заряды. Но может произойти и возбуждение атома. При этом налетевший электрон отлетает с меньшей скоростью, а у атома часть электронов оказывается отброшенной на дальние орбиты. Физики называют такие столкновения ударами первого рода.

Но существуют и удары второго рода. Медленно летящий электрон может натолкнуться на уже возбужденный атом. Атом тут же отдаст ему излишек своей энергии, превратится в нормальный, а электрон, как «ошпаренный», отлетит с большой скоростью.

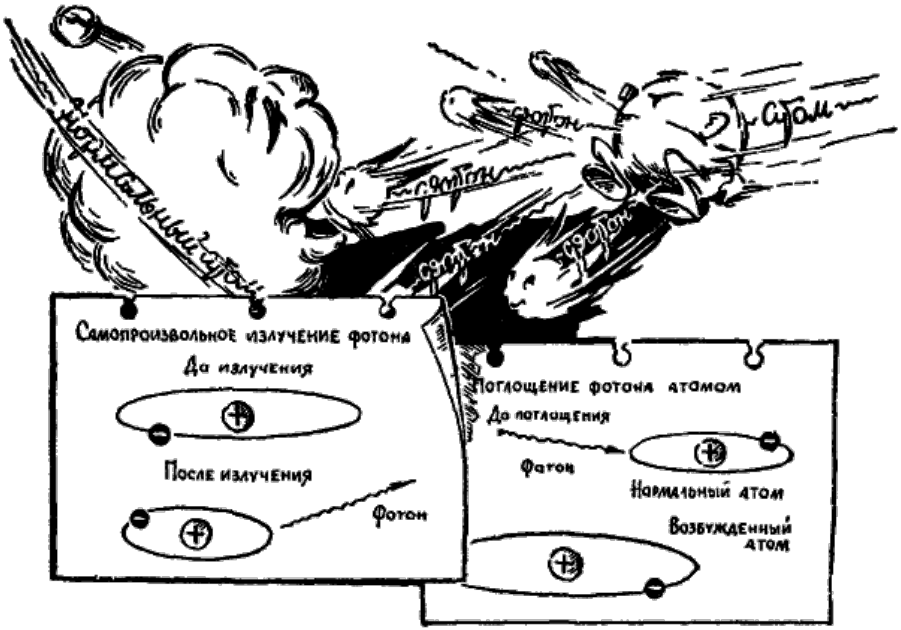


Но, кроме таких процессов, в плазме или в нагретом теле происходят другие, чисто оптические процессы. В них участвуют световые частицы — фотоны и атомы.

До упомянутой работы Эйнштейна их представляли так: возбужденный атом стремится вернуться в первоначальное, устойчивое состояние. Это он делает, испустив порцию света — фотон, причем, это происходит самопроизвольно, или, иначе, спонтанно, без какого-либо постороннего вмешательства. Да и как можно вмешаться в этот процесс, если возбужденное состояние атома длится ничтожное время — миллионные и даже миллиардные доли секунды?

Но это не все. Оказывается, возникающие фотоны могут не только излучаться атомами, но и поглощаться ими. Стоит фотону, еще не покинувшему нагретое тело, наскочить на нормальный атом, как фотон исчезнет, его «проглотит» этот атом. Куда же денется энергия фотона? Ведь она не может исчезать бесследно. Она не исчезает и здесь, просто нормальный атом становится возбужденным.

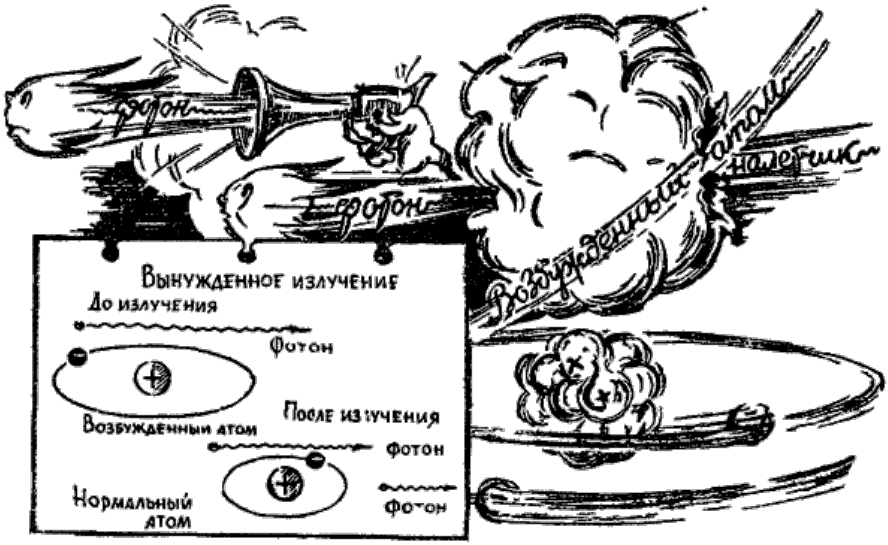
Итак, гибель фотона приводит к возбуждению атома, хотя эта гибель и кратковременна: возбужденный атом способен тут же самопроизвольно выбросить фотон.



Казалось, картина достаточно убедительна: самопроизвольное излучение атомами фотонов сопровождается противоположным процессом — поглощением их. Но Эйнштейн добавил в эту картину новые мазки. Сделал это он на языке формул и строгих физических рассуждений, и сделал так, что ученые не могли с ним не согласиться.

Крупнейший физик, имя которого уже было известно всюду, занялся, на первый взгляд, простым вопросом: что произойдет, если стремительно летящий фотон наскочит не на нормальный атом, а на уже возбужденный? Ведь и такое может иногда случиться в микромире плазмы или раскаленного тела!

Эйнштейн утверждал, что в этом случае родится новый фотон. Фотон-«налетчик» заставит возбужденный атом «выстрелить» своим фотоном. Появятся, значит, два фотона, причем, они будут лететь строго в одном направлении. В этом первое отличие такого вынужденного излучения от рассмотренного выше — самопроизвольного.

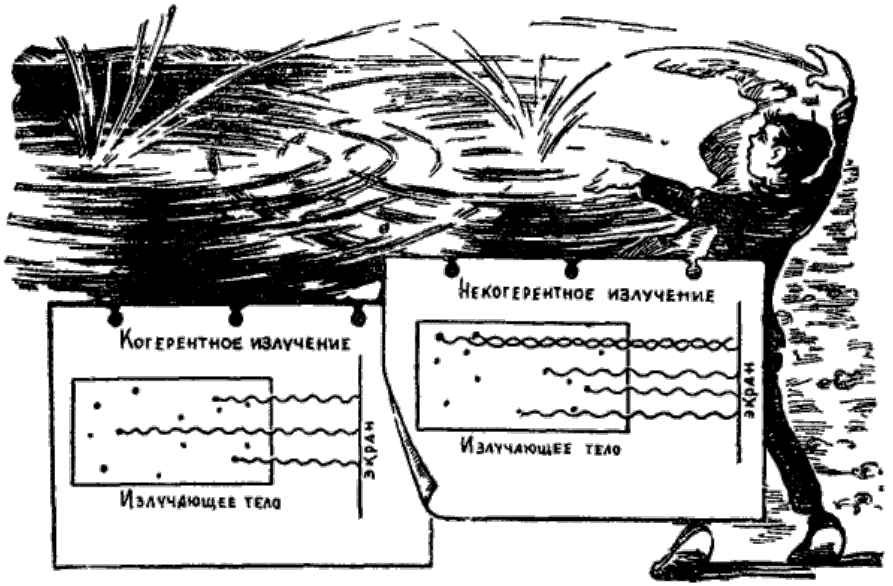


Но есть и еще отличия.

Световые частицы — это не только «пули», но и порции электромагнитных волн. Такова, как вы знаете, природа света. А если свет — волны, то волны могут взаимодействовать друг с другом.

Бросьте одновременно два камня в воду. От каждою из них побегут волны. И если внимательно присмотреться к воде, то можно заметить, что в некоторых местах встретившиеся волны погасили друг друга, а в некоторых, наоборот, усилились — в этих местах размах колебаний особенно велик.

Со световыми волнами происходит примерно то же. Если атомы испускают их беспорядочно, самопроизвольно, то некоторые из этих волн гасят друг друга, некоторые — усиливают. Такой беспорядочный свет называется некогерентным. Именно с ним мы имеем дело в повседневной жизни. Свет солнца, электрической лампочки, разрядной трубки, раскаленного железа — все это в основном некогерентный свет.



Вынужденное излучение, которое «раскопал» Эйнштейн, совсем не такое, хотя внешне оно не отличается от обыкновенного света. При нем световые волны никогда не гасят друг друга, гребни и впадины их всегда совпадают.

Иными словами, это согласованное излучение атомов — когерентно.

Что добавил Альберт Эйнштейн к имевшимся в то время физическим представлениям? Казалось, совсем немного. Но это только казалось.

Теория и практика всегда идут в ногу. Они обогащают друг друга. И каким бы блестящим ни было теоретическое умозаключение, его всегда стараются проверить на практике. Так случилось и с вынужденным излучением, предсказанным Эйнштейном.

Опыты профессора Фабриканта

Еще в 1939 году советский ученый профессор Валентин Александрович Фабрикант поставил перед собой цель — обнаружить на опыте вынужденное излучение атомов. Сделать это было не просто, и вот почему.

Возбужденные атомы в нагретом теле излучают фотоны одни самопроизвольно, другие — под действием фотонов, вынужденно. Фотоны, возникшие в обоих случаях, немедленно поглощаются

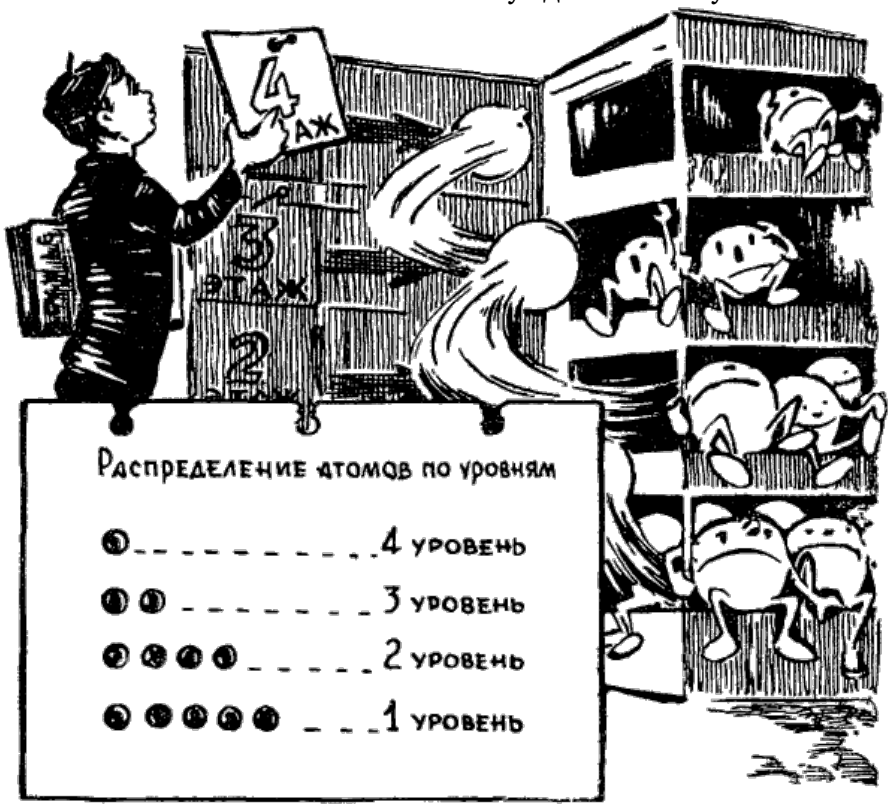
нормальными атомами, потом снова излучаются и т. д. Следовательно, у атомов вещества постоянно меняется величина энергии: у возбужденных атомов она больше, у нормальных — меньше. Физики говорят, что нормальный атом находится на первом, основном, уровне энергии, возбужденный — на более высоком. Переходы с нижнего на верхний или возвращение на основной уровень происходят скачками. При этом атом либо поглощает фотон, либо его излучает.

Атомов невозбужденных, то есть находящихся на первом уровне, в нагретом теле больше всего, поэтому они охотно поглощают все появляющиеся фотоны. При этом, как утверждал еще Эйнштейн, существует равновесие: число поглощенных фотонов равно числу излученных. Иными словами, число подъемов атомов на верхние уровни равно числу их спусков. Вынужденное излучение — это лишь один из путей спуска атомов на нижний уровень, следовательно, оно всегда будет меньше поглощения. А раз так, то и выделить вынужденное излучение невозможно.

Но профессор В. А. Фабрикант решил обойти запрет, наложенный природой. Он решил создать такую среду, в которой атомов на верхних уровнях было бы значительно больше, чем на нижних. Что это давало? В этом случае число спусков могло преобладать над числом подъемов. Атомов, стреляющих фотонами, оказывалось больше, чем атомов, поглощающих их, и это позволило бы вынужденному излучению вырваться из этой среды. Профессор прекрасно понимал, что нужна была такая среда, в которой атомы интенсивно возбуждались, то есть подбрасывались на верхний уровень и не так быстро соскальзывали вниз. Тогда ворвавшийся в среду фотон мог начать вынужденное излучение, которое, разрастаясь подобно лавине, покинуло бы среду и попало в оптические приборы.

Наиболее подходящей средой для опыта, проведенного уже после войны, оказалась плазма. Была изготовлена разрядная трубка, в которую заперли пары ртути в смеси с гелием или водородом. Когда в такой смеси зажигался разряд, то атомы возбуждались как за счет соударений с электронами, так и благодаря поглощению фотонов. Самопроизвольные переходы на нижние уровни при этом уже не уравновешивали подъемы. Большое значение имели и столкновения молекул ртути с атомами примеси. Одним словом, верхний этаж оказывался более заселенным, чем нижний. Когда в такую среду, которую назвали активной, впускали свет, то его фотоны заставляли атомы скатываться на более низкий уровень, то есть вызывали вынужденное излучение. Это излучение прибавлялось к

впущенному в среду свету, и после нее он оказывался значительно ярче, сильнее. Плазма не поглощала свет, а усиливала его. Усиливала за счет вынужденного излучения.

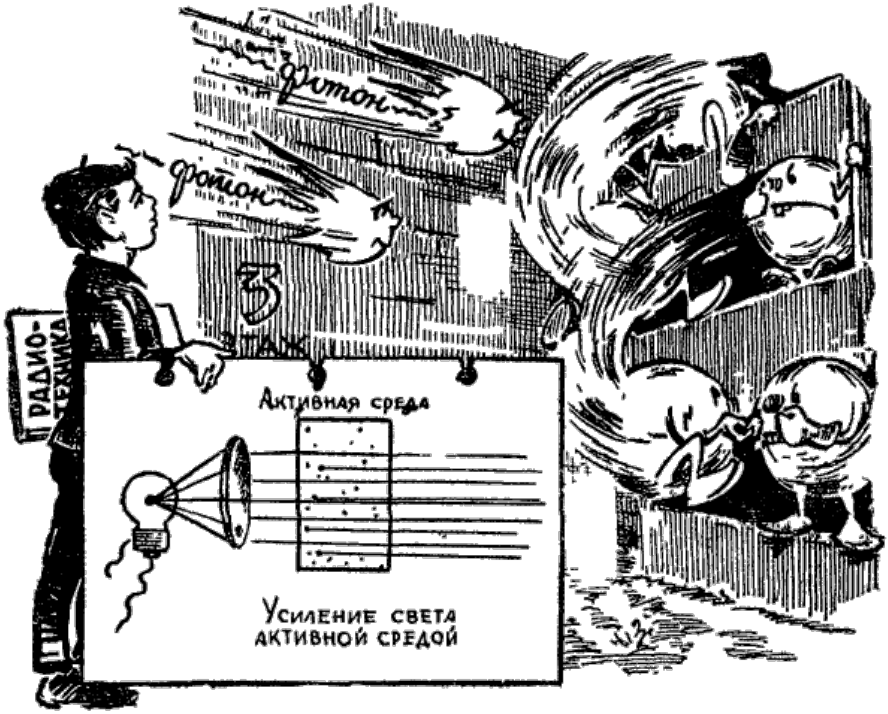


Нужно отметить, что не любой свет может вызвать вынужденное излучение. На возбужденный атом должен налетать лишь такой фотон, который данный атом может испустить. На фотоны другого «сорта» возбужденный атом не реагирует. Следовательно, при вынужденном излучении появляются фотоны-близнецы, у которых частота, а следовательно, и энергия, а также другие свойства совершенно одинаковы. Поток таких фотонов и есть когерентный свет.

На первых порах принцип усиления света, открытый профессором В. А. Фабрикантом, нашел применение… в радиотехнике. Это неудивительно, по тому что как свет, так и радиоволны есть электромагнитные колебания, отличающиеся лишь частотой.

В усилителях радиоволн, которые назвали молекулярными, очень слабый радиосигнал попадал в специальную камеру — резонатор. В ней находилось огромное количество возбужденных молекул аммиака. Под действием пришедшей волны происходило лавинообразное сбрасывание молекул аммиака с верхнего

уровня. При этом молекулы сами испускали радиоволны, благодаря чему принятый сигнал усиливался во много раз.



Такой усилитель радиоволн можно превратить в генератор, в котором радиоволны возникают самостоятельно, без вмешательства внешнего сигнала. Для этого нужно лишь увеличить приток возбужденных молекул аммиака в резонатор. Такой генератор дает строго постоянную частоту колебаний, что требуется в целом ряде радиотехнических устройств.

Молекулярные усилители и генераторы радиоволн, едва появившись, стали применяться для усиления слабых радиосигналов, приходящих на Землю из космоса, для создания эталонов времени — часов, которые никогда не отстают и не убегают вперед, а также для различных научных исследований. Советские физики Н. Г. Басов и А. М. Прохоров, разработавшие их, были удостоены звания лауреатов Ленинской премии.

И все же вынужденное излучение, так удачно использованное в радиотехнике, еще не раскрыло всех своих возможностей. Многие ученые, в том числе и сам профессор Фабрикант, верили, что вынужденное излучение можно с практической пользой применить и для световых волн. Уж очень заманчивыми казались его свойства, особенно направленность излучения, которая дает возможность получить не веер световых лучей, а острый их пучок. А раз так, то луч света можно сделать мощным, таким, как у гиперболоида инженера Гарина в научно-фантастическом романе

Алексея Толстого.

Лазер — гиперболоид наших дней

Вспомним, как в романе Алексея Толстого инженер Гарин решил поставленную им техническую задачу при создании своего гиперболоида.

Двенадцать угольных пирамидок, горящих в фарфоровых чашечках, бросали свой свет на зеркало, выполненное в виде гиперболоида. Отразившись от зеркала, лучи собирались в фокусе, в котором помещалось второе гиперболическое зеркало из тугоплавкого минерала — шамонита. Это небольшое зеркало посылало лучи, строго параллельно. Именно такой луч мог резать, разрушать здания, крепости, дредноуты, скалы.

Позднее, обосновавшись на острове, Гарин для бурения земной коры использовал двенадцать гиперболоидов, в которых световая энергия создавалась электрическими дугами, зажженными между тугоплавкими электродами.

«Весь секрет в том, чтобы послать нерассеивающийся луч», — так один из персонажей романа профессор Хлынов сформулировал задачу, стоящую перед создателем подобного аппарата.

Потребовалось несколько десятилетий, пока физики сумели на деле создать прибор, подобный тому, который действовал в романе писателя-фантаста. Только главное слово здесь было сказано не оптикой, а квантовой механикой — наукой, изучающей жизнь и поведение мельчайших обитателей микромира.

Новые удивительные приборы, созданные физиками несколько лет назад, называют квантовыми усилителями или генераторами света. Привилось и более короткое их название — лазеры. Слово это составлено из начальных букв английской фразы, которая на русский язык переводится так: «Усиление света за счет создания стимулированного излучения». Здесь «стимулированное излучение» — то же самое, что выше было вложено в понятие «вынужденное излучение». Значит, в лазерах мощный поток света создается за счет вынужденного излучения атомов, находящихся на верхних энергетических уровнях.

Как был устроен и как работал первый лазер, созданный физиками?

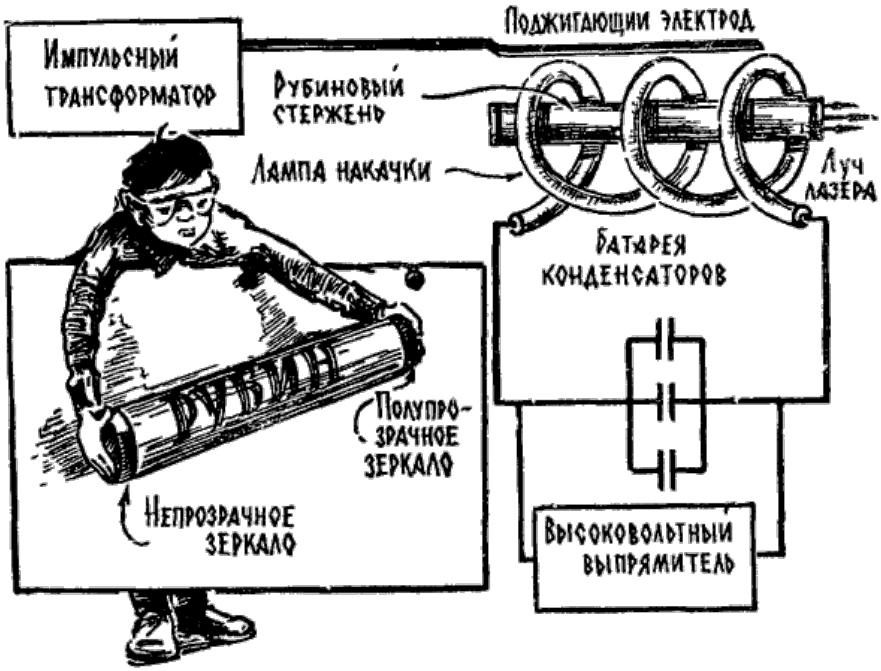
Сердце лазера — это красноватый стержень из рубина.

Кристалл этот известен давно. Рубин — окись алюминия с примесью хрома. Чем больше в нем хрома, тем гуще, краснее его окраска. Наиболее подходящими оказались рубиновые стержни, в которых примесь хрома составляла 0,05 процента.

Вынужденное излучение в рубине создают атомы хрома. Как это происходит?

Чтобы возникло вынужденное излучение, нужно, как вы уже знаете, создать активную среду, в которой большинство атомов хрома оказалось возбужденными. Очевидно, для этого нужна энергия. В опытах профессора В. А. Фабриканта использовалась энергия движущихся зарядов, здесь — световая энергия. Рубиновый стержень помещен внутрь спирали импульсной ксеноновой лампы. Она похожа на лампу фотовспышки, только имеет значительно большую мощность.

К электродам спиральной лампы — ее называют лампой накачки — тянутся провода от батареи конденсаторов. Включив высоковольтный выпрямитель, заряжают батарею до нескольких тысяч вольт, и это напряжение подается на электроды лампы накачки. Но разряд внутри нее пока не наступает. Его нужно поджечь. Для этого от небольшого трансформатора подают высоковольтный импульс. Как и в фотовспышке, этот импульс попадает на поджигающий электрод — пластинку, расположенную рядом со спиральной лампой. Импульс ионизирует газ в лампе, и теперь батарея конденсаторов разряжается через лампу. Сотые доли секунды живет плазма в спиральной лампе, но за это время лампа испускает мощный поток света.



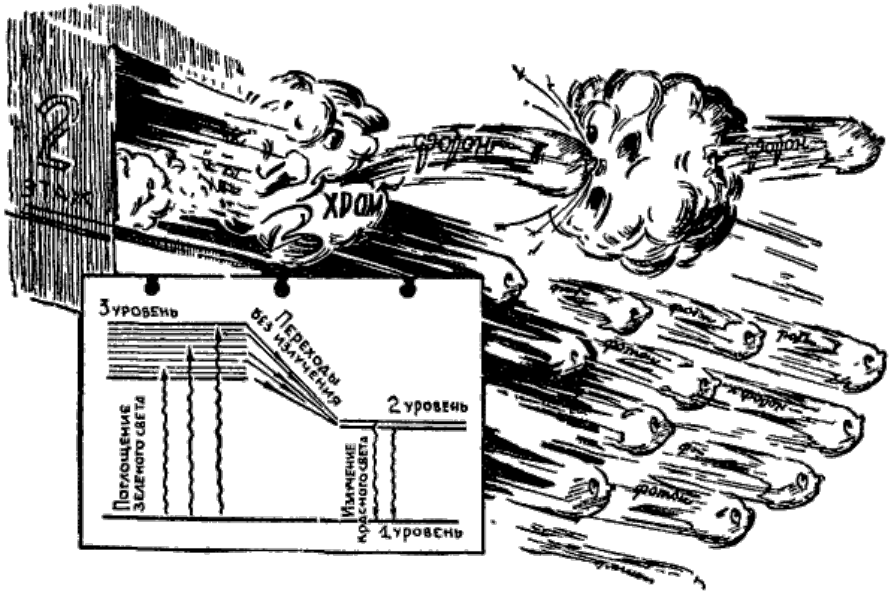
К сожалению, не все лучи импульсной лампы полезны для лазера. Нужны только зеленые. Поглощая фотоны этого света, атомы хрома возбуждаются и с первого попадают на третий уровень. Однако здесь они долго не задерживаются. Отдав небольшую часть энергии соседним атомам кристалла, причем, эта энергия идет на нагрев, они оказываются на более низком, втором уровне. В этом состоянии они могут находиться сравнительно долго — почти три тысячных доли секунды.

Цель световой накачки в том и состоит, чтобы побольше атомов оказалось на втором уровне. Если мощность спиральной лампы велика, то это сделать удается: второй уровень оказывается более заселенным, чем первый, иными словами, возбужденных атомов будет значительно больше, чем не возбужденных.

А дальше происходит следующее. Предположим, какой-либо атом хрома самопроизвольно «сорвался» со второго уровня. Значит, он испустил фотон. Пролетая мимо соседнего возбужденного атома, этот фотон вынудит и того «выстрелить» фотоном. Эти два фотона «высветят» еще два — получится уже четыре фотона, потом восемь, потом шестнадцать и т. д. Получается фотонная лавина — вынужденное излучение атомов хрома.

Чтобы это излучение получилось мощным, нужно, очевидно, увеличить путь луча внутри стержня. Значит, нужно брать более длинные стержни? Нет, в лазерах обычно ставят рубиновые

стержни длиной от пяти до тридцати сантиметров, а путь луча увеличивают при помощи зеркал. Торцы стержня шлифуются и покрываются тонким слоем серебра. Наткнувшись на такое серебряное зеркало, фотонная лавина отражается и на обратном пути присоединяет к себе излучение новых возбужденных атомов хрома. То же самое происходит, когда она встретится с противоположным зеркалом. Так и мечутся лучи внутри рубинового стержня, все больше и больше наращивая свою мощь.

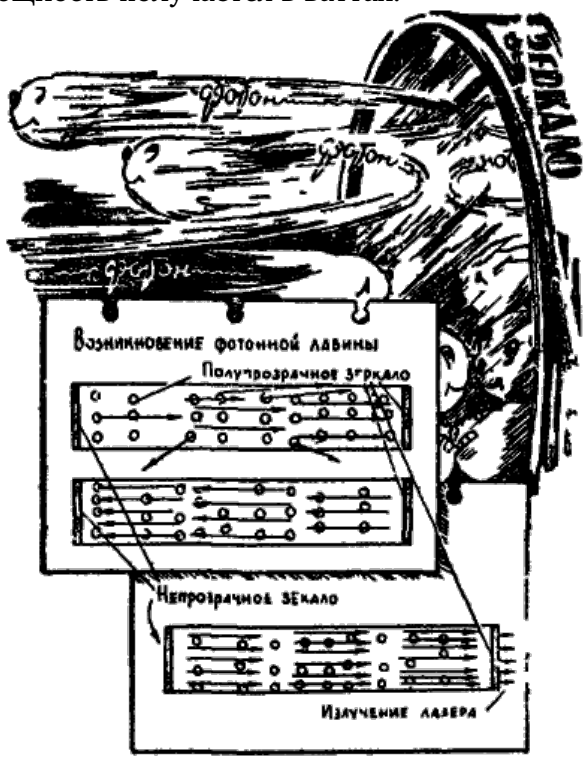

Фотон
Фотон
Фотон

точно такой же свет. Это было бы так, если бы атомы, излучая, спускались с третьего уровня, куда их забросили при накачке. На самом же деле вынужденное излучение возникает, когда атомы оказываются на более низком, втором уровне. Значит, становясь нормальными, попадая на первый уровень, они должны испускать фотоны меньшей энергии, чем у фотонов зеленого света. Так оно и получается в действительности: свет лазера красный, длина его волны 0,6943 микрона.

Лазер — это генератор света. Питаясь зелеными лучами лампы накачки, он создает красные лучи — лучи когерентного света, обладающие большой направленностью. Если луч лазера направить на Луну, то он создаст на ее поверхности пятно диаметром всего в 2 километра. Чтобы получить такой же эффект обычным способом, например, при помощи параболического отражателя, нужно взять зеркало диаметром в 150 метров!

Но, кроме острой направленности излучения, у лазера есть еще одно важное преимущество — большая мощность луча.

Рубиновый лазер работает, как правило, отдельными вспышками. Они очень коротки — тысячные доли секунды. Чтобы определить мощность вспышки, нужно энергию световой вспышки в джоулях разделить на длительность вспышки в секундах. Известная формула из школьного курса физики. Как вы, наверно, помните, мощность получается в ваттах.



Теперь обратимся к цифрам. Недавно в печати было опубликовано сообщение, что создан лазер с выходной энергией в 350 джоулей. Вроде бы не очень много. Но он эту энергию «выплескивает» за 0,0005 секунды. Значит, луч имеет мощность в 70 киловатт! А ведь первые лазеры имели мощность в единицы киловатт.

В физических лабораториях идет постоянная борьба за мощность светового луча. Ученые нацелились уже на миллионы ватт, или мегаватты. Лазеры с такой мощностью созданы.

Я рассказал о работе рубинового лазера. В нем главные события происходят в кристалле — в твердом теле. Но и такой лазер без плазмы обойтись не может: накачка в нем осуществляется плазменной импульсной лампой. Неужели роль плазмы в этих удивительных приборах этим только и ограничивается? Конечно, нет.

Прошло еще очень немного времени после появления рубиновых лазеров, как стало известно, что разработан лазер нового типа. Этот собрат совсем не был похож на своего предшественника: у него не было ни стержня-кристалла, ни лампы накачки. И работал он не отдельными вспышками, а непрерывно испускал когерентный направленный свет.

Что это был за прибор? Давайте посмотрим.

Совместная служба гелия и неона

У нас обыкновенная кварцевая трубка длиной около метра и диаметром полтора сантиметра. На концах — кольца-электроды, к ним тянутся провода от высокочастотного генератора. В трубке заперты гелий и неон — инертные газы которые превратившись в плазму, становятся деятельными создателями когерентного света. Трубка отличается от обычных лишь тем, что у ее концов установлены два зеркала. Лазер! — догадываетесь вы, и эта догадка верна.

В трубке атомов гелия в десять раз больше, чем неона. Такая пропорция не случайна. Когда включается высокочастотный генератор и в трубке зажигается тлеющий разряд, электроны чаще всего сталкиваются с атомами гелия и возбуждают их. Атомы гелия оказываются на втором уровне, на котором в атомных масштабах могут быть довольно долго. Такие возбужденные атомы сталкиваются с атомами неона и отдают им свою энергию.

У неона ступеньки уровней расположены чаще, чем у гелия. Поэтому, когда атом гелия избавится от энергии и вернется на первый уровень, атом неона, получив эту энергию, оказывается заброшенным на свой четвертый уровень. Второй уровень атомов гелия и четвертый неона совпадают. Так как в трубке атомов гелия значительно больше, чем атомов неона, то порции энергии идут от гелия к неону. Получается накопление атомов неона на четвертом уровне.

Но ведь атомы стремятся соскользнуть на более низкий уровень. Такие самопроизвольные переходы случаются и с атомами неона: они с четвертого спускаются на третий уровень. Но этот уровень напоминает скользкую ступеньку: на ней атомы почти не задерживаются и скатываются еще ниже. И несмотря на то что на третий уровень атомы неона подбрасываются еще и соударениями с электронами, все равно на нем их оказывается меньше, чем на более высоком, четвертом, уровне. А это как раз и является условием для возникновения вынужденного излучения атомов неона.

Как рождается вынужденное излучение в активной среде, вы уже знаете из рассказа о рубиновом лазере. Фотон, возникший

при самопроизвольном переходе какого-либо атома неона с четвертого на третий уровень, пролетая мимо возбужденного до четвертого уровня атома неона, заставляет и его тоже перейти на третий уровень и испустить фотон. Дальше процесс повторяется, и в плазме возникает фотонная лавина. Многократно отражаясь от зеркал, эта лавина разрастается, и часть ее вырывается через одно полупрозрачное зеркало. Непрерывным потоком струится из газового лазера когерентный свет.

Уровни гелия и неона

Разница в энергии между четвертым и третьим уровнями неона невелика, поэтому и фотоны, возникающие при вынужденном излучении, обладают небольшой энергией. А чем меньше энергия фотона, тем, как известно, больше длина световой волны. И действительно, газовый лазер излучает наиболее длинные световые лучи — невидимый инфракрасный свет. Длина его волны от 0,6 до 3,4 микрона.

Как видите, газовый лазер коренным образом отличается от рубинового. В нем взаимодействуют два разнородных газа, забрасывание атомов на верхние уровни производится не световой накачкой, а силами электрического поля, и, кроме этого,

лазер испускает свет не импульсами, а непрерывно. Последнее обстоятельство, а также то, что в газе меньше плотность активных молекул, объясняет, что газовые лазеры имеют небольшую мощность — доли ватта. Но у них есть целый ряд преимуществ в сравнении с кристаллическими.

Во-первых, газовый лазер дает по частоте исключительно однородный сигнал. Отклонения от основной частоты составляют всего одну десятимиллиардную долю. Такое отклонение обычными оптическими методами невозможно даже измерить — приходится применять специальные, довольно сложные методы.

Во-вторых, газовый лазер не боится резких перепадов температур, чего нельзя сказать о рубиновом. Стержень рубинового лазера при работе очень сильно нагревается, приходится его охлаждать либо воздухом, либо жидким азотом. Но равномерно охладить кристалл не удается: внутренние слои стержня всегда оказываются горячее наружных. А раз так, кристалл может лопнуть, как лопается стакан, когда в него наливают кипяток. Газовый лазер таким недостатком не страдает.

Наконец, третье преимущество газовых лазеров состоит в том, что его можно делать любых размеров, для чего нужно брать необходимой длины разрядные трубки. Размеры кристаллического лазера определяются длиной стержня, который, как уже отмечалось, длиннее тридцати сантиметров не делают. Слишком длинный стержень труднее изготовить и труднее осуществить его световую накачку.

Газовые лазеры только начинают свою жизнь. Описание первого из них было опубликовано лишь в 1961 году. Некоторое время спустя удалось сделать лазер, который, как и рубиновый, создавал видимый, красный свет. В этом лазере, трубка которого тоже наполнялась смесью гелия с неоном, электрический разряд поддерживался постоянным напряжением около 1700 вольт. Полное давление газов в трубке достигало 0,7 миллиметра ртутного столба.

Появились также новые газовые лазеры, создающие инфракрасный свет. Так, разряд в смеси аргона с кислородом, осуществленный в одном из таких лазеров, создавал вынужденное излучение длиной волны около 8,5 микрона. Газовый лазер на смеси криптона и паров ртути излучал инфракрасный свет с длиной волны в 6 микрон. Все это говорит о том, что возможности, которыми обладает плазма как источник вынужденного излучения, только начинают раскрываться. Целый ряд специалистов-физиков, в том числе и профессор В. А. Фабрикант, считают, что в скором времени газовые лазеры среди квантовых усилителей света выйдут на первое место.

Преимущества их, упомянутые выше, позволяют на это надеяться.

Лазер — прибор, который уже сейчас нужен ученым, инженерам, химикам. Как для газовых, так и для кристаллических лазеров имеется непочатый край задач, которые другими средствами выполнить либо труднее, либо невозможно вообще. Какие это задачи, вы сейчас узнаете.

Семья лазеров-тружеников

Детище квантовой механики — лазер стремятся взять на вооружение многие науки и отрасли техники. Ученые и инженеры разных специальностей спорят между собой, считая, что лазер с большим эффектом может быть использован именно в данной отрасли, а не в какой-либо другой. Однако возможности, заложенные в этом удивительном приборе, столь велики, что он оказывается полезным и связистам, и врачам, и металлургам, и исследователям космоса.

Связисты, например, считают, что лазеры станут основными устройствами для обеспечивания наземной, космической и даже подводной связи.

Уже испытан лазер в оптическом телефоне. Не провода, а острый луч переносил на большое расстояние человеческую речь.

Яркость луча при разговоре менялась, потом эти изменения вновь преобразовывались в звук. Правда, это были только первые опыты, но есть все основания надеяться, что появятся портативные устройства с лазерами, которые позволят наладить связь в горных и труднодоступных местах, через проливы и т. д.

Многие специалисты предсказывают настоящую революцию, которую совершат лазеры после их внедрения в радиотехнику.

На земном шаре в разных странах ежегодно вступают в строй десятки новых радиостанций, используемых для радиовещания, самолетовождения, радиотелефонной коммерческой связи. В эфире становится тесно. Если не считать радиоволн короче десяти метров, то в эфире могут работать без взаимных помех не более трех с половиной тысяч станций. Применение же лазера позволит передавать одновременно до десяти миллионов телефонных разговоров, программ вещания и телевидения.

Система лазерной связи будет в некоторой степени напоминать современные линии связи, применяемые в телевидении. Сейчас изображение передается при помощи

радиоволн длиной в несколько метров. Эти ультракороткие волны, подобно свету, распространяются прямолинейно, поэтому для передачи их на далекие расстояния приходится строить башни радиорелейных линий, либо прокладывать кабель.

В будущем на таких башнях займут свое место лазеры, которые, как по эстафете, будут одновременно передавать и многие программы телевидения, и телефонные разговоры, и вещательные передачи. Антенной в лазерах служит прозрачная фокусирующая линза диаметром всего в несколько сантиметров, тогда как для передачи даже самых коротких радиоволн пришлось бы применять антенны диаметром в несколько десятков метров.

Свет имеет один недостаток: он сильно поглощается частицами пыли, тумана, находящимися в воздухе. Поэтому в тех местах, где атмосфера часто бывает непрозрачной, световой луч лазеров предполагают передавать по трубам. Уже произведены подсчеты, которые показали, что затраты на строительство таких трубопроводов довольно быстро окупятся.

Зато в космосе, где световые лучи не встречают никаких препятствий, лазер станет основным средством связи. Уже сейчас есть лазеры, создающие настолько яркий луч, что он может быть обнаружен на расстоянии шестидесяти пяти и более тысяч километров. Непрерывное совершенствование кристаллических лазеров все больше и больше увеличивает «дальнобойность» их лучей. Газовые лазеры, которые, очевидно, будут выступать в качестве приемников, будут способны отмечать самые далекие, самые слабые световые сигналы. Недавно построен газовый усилитель света со смесью гелия с ксеноном, который в сто тысяч раз усиливает принятый сигнал! Подобных усилителей радиотехника не знает.

Исследователи космоса в недалеком будущем при помощи лазеров будут изучать слабые световые сигналы, приходящие от самых далеких звезд, осуществлять связь между космическими кораблями, получать многочисленную информацию с искусственных спутников Земли и с ракет, заброшенных в межзвездные дали. Высокая направленность луча позволит осуществлять это при небольших мощностях источников питания. Можно обойтись и без таких источников вообще. Для накачки рубинового лазера, как вы знаете, нужен зеленый свет, а его сколько угодно в излучении Солнца. Достаточно сфокусировать солнечные лучи на кристалле, и лазер будет работать на этой даровой энергии.

Пока все это проекты и предсказания. Но уже сейчас найдена одна область применения лазерной связи, в которой новые

приборы становятся единственно применимыми, — это под водой, где связь при помощи радиоволн невозможна. До последнего времени для этой цели использовался ультразвук, но он не обеспечивал необходимой дальности и не был достаточно надежным средством связи. Если в рубках подводных кораблей установить лазеры, то они надежно свяжут мореплавателей между собой. Причем, эти лазеры должны испускать не красный, а голубовато-зеленый свет, так как именно такие лучи меньше всего поглощаются морской водой.

Недавно было опубликовано сообщение, что такой лазер создан. В нем зеленый луч света создается не рубиновым стержнем, а стеклянным с примесью атомов ниодимия. Первый образец создавал световой импульс мощностью в десять киловатт, но есть возможность повысить ее до нескольких мегаватт.

Очень полезными окажутся лазеры в радиолокации. Свет значительно лучше, чем радиоволны, может различать предметы, находящиеся неподалеку друг от друга. Так, один из световых локаторов на лазере сумел различить два неподвижных предмета, расстояние между которыми равнялось всего трем метрам, причем, эти предметы локатор разглядел с дистанции в десять километров. Световой локатор обходится без громоздких антенн, весит около десяти килограммов и легко размещается на небольшом столе. И такой портативный прибор определяет расстояние до объектов значительно точнее, чем обычный радиолокатор.

Когда от антенны передатчика распространяется радиоволна, то в радиоприемник попадает ничтожная доля энергии. Радиопередатчик посылает волны не узким пучком, а веером, и большая часть их энергии пропадает напрасно.

Создание лазера позволяет думать не только о передаче сигналов, но и энергии. Лазерная линия электропередачи будет работать так: энергия электрического тока в самом начале линии преобразуется в электромагнитную энергию луча. В пункте приема будет установлен обратный преобразователь энергии света в энергию тока. Чтобы уменьшить потери энергии при передаче, луч света можно передавать по светопроводам — трубкам, из которых выкачан воздух.

Огромная скорость распространения света открывает новые перспективы перед создателями математических машин. Когда в них получат «прописку» лазеры, нынешние быстродействующие машины будут заменены сверхбыстродействующими.

Скорость, с которой вычислительные машины производят математические операции, во многом зависит от быстроты передачи сигналов между различными узлами машин. Световые

сигналы обладают наибольшей скоростью, поэтому применение лазеров позволит достичь огромной быстроты действия. Примерно в десять тысяч раз может быть повышена скорость работы математических машин по сравнению с современными! Сейчас в математических машинах сигналы передаются по проводам. В машинах будущего световые сигналы помчатся по тончайшим стеклянным волокнам. Свет внутри такого волокна много раз отражается от стенок и попадает точно по адресу, нигде не вырываясь наружу.

Когда будут созданы такие математические машины? Скоро, потому что конструкторы уже сейчас набрасывают их контуры.

Лазеры станут верными помощниками химиков. Выше уже отмечалась высокая однородность излучения лазеров. Это позволяет воздействовать таким светом на молекулы веществ, находящихся в химическом взаимодействии. Молекулы, поглотившие фотоны нужного «сорта», становятся химически более активными — реакция ускоряется во много раз. Особенно «полезен» для молекул инфракрасный свет, который создают газовые лазеры, и можно не сомневаться в том, что в цехах химических заводов такие лазеры станут активными участниками производства.

Лазеры уже находят применение в хирургии. Тончайший луч оказался исключительно удобным скальпелем. Был проведен такой опыт: в глаз кролика направили луч света от лазера. Он фокусировался на сетчатке глаза. Воздействуя теплом такого луча, хирург успешно сшил поврежденную сетчатку.

Было испробовано еще одно применение лазера в медицине.

Всем известно, какие высокие требования предъявляются к чистоте хирургического инструмента. Чтобы этим инструментом можно было работать, его подолгу кипятят в воде, стерилизуют. Оказалось, стерилизацию можно очень быстро осуществлять светом лазера. Его лучи мгновенно убивают любые бактерии и микробов, находящихся на инструменте.

Микромир плазмы живет сложной жизнью. И чтобы раскрыть все секреты плазмы, приходится конструировать довольно сложные и громоздкие приборы, делать много разных опытов.

Едва появившись, лазер занял свое место и в лабораториях физиков-экспериментаторов. Уже сейчас физики пробуют при помощи луча лазера определять скорость движения электронов в плазме, подсчитывать их концентрацию в разных участках разрядной трубки.

Сталкиваясь с электронами, пучок лазерного света рассеивается. Больше электронов — сильнее рассеяние света. По этому эффекту и определяют концентрацию электронов,

например, внутри жгута электрической дуги.

Высокое постоянство электромагнитных колебаний лазерного луча позволяет узнать и скорость движения частиц плазмы. Когда световая волна натыкается на движущуюся частицу, то после отражения частота колебаний меняется. Быстрее движется частица — больше изменение частоты. Это явление в физике названо эффектом Допплера. Зондируя плазму импульсами лазерного света и отмечая изменения частоты световых колебаний, физики довольно точно определяют скорость частиц плазмы.

Я рассказал только о двух задачах, решаемых учеными с помощью лазеров. Их можно назвать десятки. Со временем без лазеров не будет обходиться ни одна исследовательская лаборатория.

А теперь стоит рассказать о профессии лазера как двойника гиперболоида инженера Гарина. Прибор, о котором Алексей Толстой рассказал в своем фантастическом романе, мог тонким лучом резать металл, скалы, бурить породу. Оказывается, не фантастический гиперболоид, а реальный генератор света — лазер все это может делать.

Мне приходилось видеть, как мгновенная вспышка света рубинового лазера «прошивала» десяток стальных лезвий, делала отверстие в самом твердом сплаве. Такая «физическая» сила светового луча уже используется в практике.

Каждому известно, какой твердостью обладает алмаз. Просверлить в нем отверстие — задача нелегкая. Лазер позволил ее решить очень просто. Уже созданы установки, в которых световой луч лазера делает отверстия в алмазе любого нужного размера. И делает практически в одно мгновение.

Инженеры и конструкторы, занимающиеся металлообработкой, уже сейчас пробуют использовать лазеры для резки, плавления и сварки самых тугоплавких металлов и сплавов. Луч лазера делает это с ювелирной точностью. После лазера не нужна никакая дополнительная обработка.

Лазер — это детище нашего века. Он родился в результате огромной, кропотливой исследовательской работы ученых разных стран. Особенно большой вклад сделали советские ученые.

Трудно переоценить важность открытия, сделанного под руководством профессора В. А. Фабриканта. Ему, Ф. А. Бутаевой и М. М. Вудынскому было выдано авторское свидетельство на новый способ усиления света. Другие советские ученые, лауреаты Ленинской премии А. М. Прохоров и Н. Г. Басов первые предложили использовать кристалл рубина для усиления и генерации электромагнитных волн. Идея помещения активной

среды между двумя зеркалами для увеличения эффективности вынужденного излучения впервые была высказана советским физиком А. М. Прохоровым. Его статья, опубликованная в 1958 году, имела большое научное значение. Все это ускорило создание лазеров, которые появились почти одновременно в США и в СССР.

Сейчас квантовые усилители и генераторы излучения стали объектом пристального внимания ученых разных стран. Это и не удивительно, так как возможности, заложенные в них, огромны.

Можно не сомневаться, что настойчивая работа ученых и инженеров приведет к тому, что лазеры выйдут из стен лабораторий и займут свои места в цехах заводов и химических предприятий, в клиниках и центрах связи — всюду, где они будут нужны.

Глава XI
Плазма лечит людей

Свет здоровья

Вряд ли можно ошибиться, если сказать, что свет, излучаемый плазмой, был у людей одним из первых «лекарей».

В самом деле, мы выяснили, что Солнце — это огромная масса вещества в четвертом, плазменном, состоянии.

Излучение этого скопления плазмы — солнечный свет — поддерживает на Земле жизнь. Издавна стали им пользоваться и для избавления от многих недугов.

Солнечные ванны, или попросту загар, рекомендовались еще врачами древности. И в наше время врачи нередко советуют для укрепления здоровья детям — поехать в лагерь, взрослым — на берег моря. Среди разных природных исцелителей важную роль будут играть лучи солнца. Под их влиянием в клетках кожи выделяется особое вещество — пигмент, которое окрашивает ее.

Но ценность загара не только в том, что человек стал выглядеть иначе, а в том, что пигмент повысил стойкость кожи и всего организма против многих болезней, сделал организм здоровее.

«Лечением природой», или физиотерапией, назвали врачи одну из отраслей медицины. В качестве «лекарей» в ней значатся не только солнце, но и воздух, вода, минеральные воды, климат.

На первых порах врачи и больные довольствовались тем, что давала природа. Но потом все чаще стал возникать вопрос: нельзя ли перестать гоняться за природой, а переселить ее в клинику?

Оказалось, можно. И помогло в этом бурное развитие физики, химии и техники, позволившее создать такие приборы и аппараты, которые были ничуть не хуже, а в ряде случаев и лучше того, чем располагала природа.

Плазменным устройствам принадлежит здесь почетное место, особенно при лечении светом.

Но прежде чем рассказывать об этих устройствах, нужно разобраться в том, как действуют на организм человека различные лучи света.

Возьмем, например, излучение Солнца. В нем можно обнаружить лучи самых различных «сортов»: видимые, инфракрасные и ультрафиолетовые. При «ударе» о поверхность

тела человека световая энергия этих лучей переходит в другие виды энергии.

Известно, что наибольшей длиной волны обладают инфракрасные лучи. В физике их еще называют тепловыми. Они глубже всех проникают в тело человека и поэтому используются для прогрева тканей, расположенных сравнительно глубоко. От этого ускоряются физико-химические процессы в тканях, улучшается обмен веществ. Более короткие световые волны, особенно ультрафиолетовые, вызывают иные явления. Они способны отрывать от молекул, из которых состоит ткань, электроны, подобно тому, как это происходит в фотоэлементе. В организме человека возникают микротоки, воздействующие на нервную систему. Обнаружено также, что ультрафиолетовые лучи рождают в коже сахар и другие особо активные вещества, которые «рассасываются» в организме и попадают в кровь.

Как видите, световое облучение может воздействовать на организм в целом и на отдельные его органы.

Из всех искусственных источников света по составу лучей ближе всего к солнечным электрическая дуга. Для кабинетов физиотерапии созданы специальные дуговые прожекторы. В них дуга возникает между двумя угольными электродами, расположенными в фокусе рефлектора. Больного усаживают перед прожектором и открывают те части тела, которые нужно прогреть.

Лучи прожектора заставляют расширяться сосуды, усиливают движение крови, помогают рассасыванию вредных веществ в тканях. Применяются они и как обезболивающее средство.

Иногда врач-физиотерапевт приходит к выводу, что больному полезно будет принять побольше ультрафиолетовых лучей. Например, при туберкулезных поражениях кожи, костей, суставов, при нервных заболеваниях, при лечении фурункулов, ожогов, ран — всего не перечтешь.

На «вооружении» врачей есть несколько типов ламп, щедро излучающих ультрафиолетовые лучи. Их рождает плазма.

В прозрачной кварцевой трубочке — прямой или изогнутой — вместо воздуха накачан аргон и помещена капелька ртути. Когда на электроды подадут напряжение 220 вольт, возникает разряд в аргоне. Трубка нагревается, ртуть испаряется, и тлеющий разряд в аргоне переходит в дуговой разряд в парах ртути. После этого можно начинать светолечение.

Если нужно получить самые короткие ультрафиолетовые лучи, то применяются ртутные лампы, в которых зажигается не дуговой разряд, а тлеющий. В этих лампах паров ртути настолько мало, что для получения дуги, можно сказать, не хватает материала. Подобные облучатели невелики по размерам, их можно применять как в клинике, так и при лечении больных дома.

Лучи плазмы не только лечат больных, они хороши и как средство предупреждения болезней. Во многих городах имеются специальные помещения — фотарии. Ежедневно в них бывают сотни людей, которых подвергают массовому облучению ультрафиолетовыми лучами.

В центре большой комнаты установлена мощная ртутно-кварцевая горелка. Она излучает свет во все стороны. На расстоянии двух с половиной — трех метров вокруг нее размещаются двадцать — тридцать человек. Вся процедура занимает не более двух-трех минут. Совсем немного времени, а как велика польза!

Наблюдения показали, что посещение фотария предохраняет человека от различных простудных заболеваний, улучшает работу всего организма. Если же человек все-таки заболеет, например, гриппом, то организм легче справляется с болезнью.

Искра-исцелительница

Человек много работал, мало отдыхал. Курил папиросу за папиросой, редко бывал на воздухе, забросил спорт. Запершись в душной комнате, заполненной клубами табачного дыма, он, кроме своих вычислений и книг, казалось, ничего не замечал. Но вскоре такая жизнь дала о себе знать. Появились головные боли, головокружения. Следовало бы сделать перерыв в занятиях, изменить обстановку, но срочная работа не ждет. И снова труд, который все меньше и меньше приносит удовлетворения, все больше расшатывает здоровье. Головные боли усиливаются и уже не проходят, начинает пошаливать сердце.

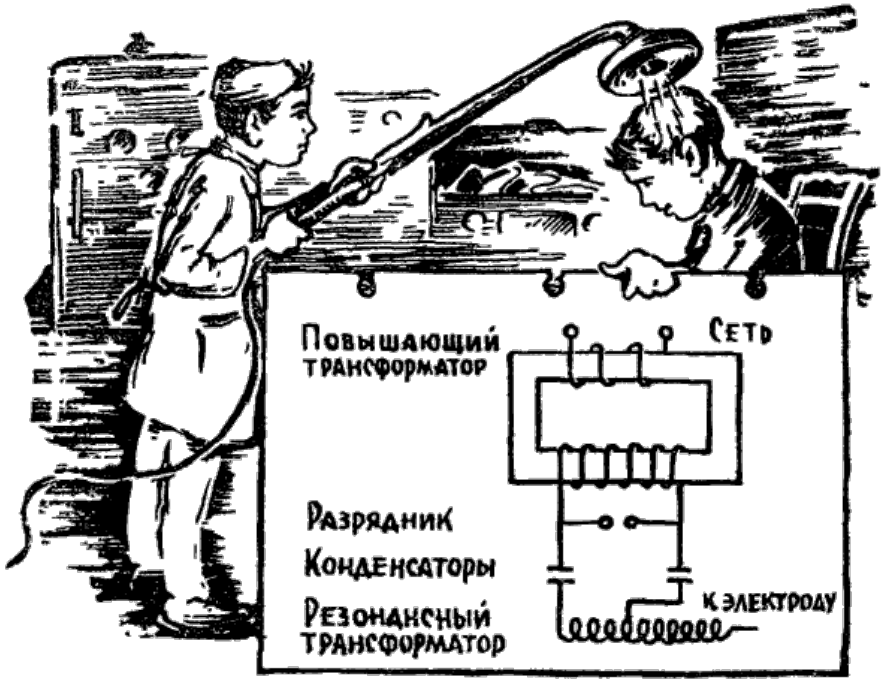
Больной вынужден обратиться к врачу. Тот тщательно исследует организм, подробно обо всем расспрашивает. Ставит диагноз:

— Функциальное заболевание нервной системы. Требуется лечение…

Работа прервана, приходится быть частым посетителем различных кабинетов поликлиники. Бывать и в кабинете физиотерапии. Здесь в бой за здоровье человека вступает… электрическая искра. Да, обыкновенная искра, о которой немало уже рассказано было выше.

Больного усаживают в кресло. Включают установку и подносят стеклянный электрод к голове. Разреженный воздух в трубке становится плазмой, начинает светиться, а с конца

электрода с треском срываются каскады искр. Это дарсонвализация. Врач знает: через несколько сеансов головные боли утихнут, а потом и совсем перестанут беспокоить.



Что же это за средство, исцеляющее больных? И причем здесь искра?

Вначале о названии. Оно произошло от имени автора этого метода — французского физика д'Арсонваля, предложившего применять для лечебных целей переменные токи частотой сто — двести тысяч колебаний в секунду.

Аппарат прост по устройству. Основные детали в нем — повышающий трансформатор, включенный в сеть переменного тока, и резонансный трансформатор, присоединенный к разряднику. Когда между дисками разрядника проскакивает искра, в резонансном трансформаторе индуктируется напряжение в несколько сот тысяч вольт. По толстому проводу-шлангу это напряжение подается на вакуумный электрод, с которого срываются искры-исцелительницы. В последних моделях аппаратов дарсонвализации вместо разрядника ставится прерыватель электрического тока или применяется ламповый генератор.

Электрические искры, проскакивающие между вакуумным электродом и телом человека, вызывают в организме сложные процессы. Они понижают чувствительность кожи, вызывают ее покраснение, воздействуют на густую сеть нервов. В центральную

нервную систему бегут импульсы — сигналы. Искры как бы заставляют клетки тканей «встряхнуться», активизироваться.

Дарсонвализация применяется не только при нервных заболеваниях. Искры хорошо исцеляют язвы, раны, ожоги, экземы. В долго не заживающих ранах, «обработанных» искрой, происходит резкое сужение сосудов и возникают биологические процессы, способствующие росту новой ткани, заживлению раны.

В аппаратах д'Арсонваля искры получаются от переменных высокочастотных напряжений. В физиотерапии применяются также аппараты, в которых искровые разряды возникают от постоянного тока. Электрод-шарик подносят к человеку на такое расстояние, чтобы проскакивала искра и ощущались легкие уколы. Иногда больного подвергают воздействию зарядов, стекающих с остриев при тихом разряде. Подобный метод лечения называется франклинизацией или статическим душем. Он применяется при заболеваниях нервной системы, бессоннице, отсутствии аппетита, быстрой утомляемости. Процессы, вызываемые франклинизацией в организме человека, еще изучены недостаточно. Однако длительные наблюдения над

больными показали, что она приносит человеку большую пользу.

Плазма убивает бактерии

В конце XIX века ученые обнаружили, что свет может убивать бактерии. Начались тщательные исследования, которые позволили впоследствии начать активную борьбу с заразными болезнями.

Даже обыкновенный солнечный свет губит бактерии. Происходит это потому, что в солнечном свете есть ультрафиолетовые лучи. Длина волны самых коротких из этих лучей в спектре Солнца, достигающих земной поверхности, равна примерно тремстам миллимикронам.

Многочисленные опыты показали, что наиболее «неприятными» для бактерий являются ультрафиолетовые лучи с длиной волны 254–265 миллимикрон. Таким образом, солнечный свет не располагает наиболее активными световыми «снарядами».

Но человек давно научился получать искусственным путем то, что не может дать природа. Удалось создать и источники света, излучающие очень короткие ультрафиолетовые лучи.

Это были плазменные источники света. По устройству они очень похожи на лампы дневного света, только внутренняя поверхность кварцевой трубки чистая, она не покрыта люминофором. Тлеющий разряд в парах ртути щедро излучает ультрафиолетовые лучи, обладающие губительным для бактерий, или бактерицидным, свойством.

Попадая на участок тела, густо заселенный бактериями, ультрафиолетовые лучи атакуют их по двум направлениям. Они прежде всего действуют непосредственно на бактерии, разрушая заключенный в них белок. Бактерии гибнут.

Но проникнуть внутрь тела глубже чем на полмиллиметра ультрафиолетовые лучи не могут, они задерживаются тканями. И все же часто бактерии, спрятавшиеся глубоко в теле человека, гибнут после облучения светом бактерицидной лампы. Почему? Потому что ультрафиолетовые лучи вызывают в коже небольшие воспалительные процессы. В тканях возникают такие вещества, которые «не по нутру» бактериям, и они гибнут. В этих процессах важную роль играет влияние лучей на окончания нервов.

В нашей стране забота о здоровье людей — большая государственная задача. Поэтому так важны у нас мероприятия по предупреждению болезней, большинство из которых

распространяется за счет переноса бактерий.

Бактерицидные лампы помогают расправиться с этими бактериями. Устанавливая их над входами в кинотеатры, станции метро, клубы, а также в детских учреждениях и клиниках, уничтожают целые полчища не замечаемых нами бактерий.

Много бактерий обитает в воде, которую мы пьем, в которой купаемся. Наряду с хлорированием воды ее, кроме этого, подвергают облучению ультрафиолетовым светом.

Некоторое время назад проведены успешные опыты по обеззараживанию лучами плазмы воды, поступающей в бассейны для плавания. В воде, прошедшей такую обработку, можно купаться, не боясь, что в организм проникнут невидимые враги человека.

Но ультрафиолетовые лучи способны не только убивать бактерии в ранах и на коже человека. Облучение таким светом в определенных дозах может ускорить рост растений, уменьшить падёж цыплят, поросят и другой живности. Если подставить лучам ультрафиолетового света льняное или прованское масло, получится хорошее лекарство для детей, страдающих рахитом. Невидимые лучи, вышедшие из недр плазмы, приводят к образованию в масле витамина Д — незаменимого средства для ускорения роста и улучшения обмена веществ.

Так плазма, излучающая световую энергию, решительно вторгается в медицину и биологию. Однако плазма ценна для них не только своим живительным светом. Чем именно еще, вы узнаете из следующего рассказа.

Климат Абхазии в каждом доме

Посмотрите на рисунок на стр. 190. Он изображает больного, принимающего электростатический душ. Расположенные над головой острия находятся под высоким постоянным напряжением. Больной помещен в зону тихого разряда. Его тело пронизывается электрическим полем, оказывающим благотворное влияние на нервную систему и внутренние органы. Кроме того, в окружающем воздухе имеются миллиарды ионов, возникающих при разряде. Есть в нем и молекулы озона. Этим воздухом дышит больной.

Врачи заметили, что если электрод, расположенный над головой, соединен с отрицательным полюсом высоковольтного источника, питающего разряд, то самочувствие больного

улучшается быстрее, выздоровление наступает раньше, чем в том случае, когда электрод соединен с положительным полюсом. Некоторые врачи стали утверждать, что такой эффект получается благодаря влиянию отрицательных ионов на организм человека. Они сравнивали действие ионизированного воздуха с благотворным влиянием воздуха в высокогорных областях.

Чтобы доказать это, нужно было изучить «начинку» горного воздуха, выяснить, почему в Абхазии и в других высокогорных местах многие люди живут по сто и более лет.

В горы отправились экспедиции ученых. Они были оснащены приборами, способными произвести точнейший анализ воздуха, обнаружить и подсчитать любые заряженные частицы, если они там окажутся.

Работа ученых дала интересные результаты. Оказалось, что в горах, около бурных рек и водопадов, воздух сильно насыщен отрицательными ионами. Появились они здесь неслучайно.

Горные водопады, создающие целые толпы мельчайших брызг воды, непрерывно рождают миллиарды отрицательных ионов. Возникают они благодаря трению частиц воды о молекулы воздуха. В горах, кроме того, как правило, имеются залежи радиоактивных руд. Мощное их излучение также вызывает ионизацию воздуха. Прозрачность воздуха, отсутствие в нем пылинок увеличивает «долголетие» отрицательных ионов, полезных организму.

Обнаружив ионы в воздухе, которым дышат люди гор, ученые взяли пробы и в других местах. Оказалось, что если в Абхазии каждый кубический сантиметр воздуха содержит двадцать тысяч отрицательных ионов, то в других местах их значительно меньше: на кавказских курортах — до двух тысяч, на равнинных полях и лугах — не более тысячи, а на городских улицах лишь сто — двести ионов в кубическом сантиметре. Это в сто раз меньше, чем в Абхазии! Совсем мало отрицательных ионов отыскалось в городских домах — только сорок — пятьдесят штук в каждом кубическом сантиметре. А если в комнате грязь, пыль, табачный дым — тогда и того меньше.

Мы уже знаем, как может «родиться» отрицательный ион. Нужно, чтобы в газе возникали свободные электроны, которые могли бы «прилипать» к нейтральным молекулам, оказавшимся поблизости.

Воздушный океан Земли непрерывно бомбардируют космические частицы. На него обрушиваются потоки ультрафиолетовых лучей и корпускулярного излучения Солнца. В земных недрах есть радиоактивные вещества. Все это приводит к появлению свободных электронов в воздухе и образованию как

положительных, так и отрицательных ионов.

Для нашего здоровья важны так называемые легкие отрицательные ионы, которые возникают после «прилипания» электронов к одной или нескольким молекулам газа.

В чистом воздухе легкий отрицательный ион живет минут двадцать, в пыльном время его жизни во много раз сокращается. Сталкиваясь с пылинками, ионы оседают на них, образуя тяжелые ионы. Это уже не молекула газа, имеющая заряд, а целая «глыба» твердого вещества, облепленная зарядами. В загрязненном воздухе, как показали исследования, больше всего тяжелых положительных ионов. Число их, между прочим, увеличивается при резких изменениях погоды, при сильных ветрах, вызванных циклонами.

Организм не любит дышать воздухом, насыщенным тяжелыми положительными ионами. Они вызывают недомогание, головные боли, ощущение духоты. Выдыхаемый нами воздух сам содержит тяжелые положительные ионы.

Совсем другое дело — легкие ионы, особенно отрицательные. Наука точно установила: если организм их лишен, то он заболевает и гибнет.

Теперь понятно значение воздуха в продлении жизни. Не только спокойный, размеренный образ жизни, не только молочно-растительная пища, но и воздух удлиняет жизнь жителей Абхазии!

Выяснив роль воздушных отрицательных ионов для нормальной деятельности организма, ученые стали создавать «горный климат» в домах, больницах и лечить им разные болезни: астму, гипертонию, заболевания крови и нервной системы, детские болезни.

Первыми аппаратами, вырабатывающими живительные заряженные частицы, и оказались аппараты франклинизации.

Но легкие отрицательные ионы полезны и здоровым людям. Они замедляют старение организма, очищают воздух от микробов и пыли, что препятствует переносу заразных заболеваний. Люди, работающие в воздухе, насыщенном легкими отрицательными ионами, меньше утомляются, дают более высокую производительность труда.

Даже растения лучше растут, если в воздухе много отрицательных ионов.

Ученые решили разработать удобные экономичные установки, которые создавали бы много легких отрицательных ионов.

И они были созданы. Но прежде чем рассказывать об их устройстве, отмечу, что некоторые производственные процессы

сами по себе сопровождаются появлением ионов. Например, электросварка. Ультрафиолетовые лучи дуги ионизируют воздух, множат армию легких отрицательных ионов. В прядильных же цехах, где постоянно трутся друг о друга волокна тканей, образуется гораздо больше положительных ионов.

Устройства для получения отрицательных ионов называются аэроионизаторами.

Сейчас промышленность выпускает много разных типов ионизаторов воздуха. Некоторые прямо скопированы у природы. В них вода из водопровода проходит через сетку и распыляется, ударяясь в дно металлической чашки. Использованная вода по шлангу отводится в канализацию.

Профессор А. Б. Вериго еще в 1933 году использовал для искусственной ионизации воздуха радиоактивные вещества. Прибор его прост. Вентилятор гонит воздух мимо радиоактивного излучения, и этот воздух обогащается отрицательными ионами.

Но самыми удобными и высокопроизводительными являются аэроионизаторы, в которых ионы создает плазма.

Хорошо зарекомендовал себя коронный разряд. В аэроионизаторах он возникает на острых концах проволочек, соединенных с отрицательным полюсом высоковольтной установки. Мощности здесь большой не требуется, и с задачей получения высокого напряжения хорошо справляется, например, блок высокого напряжения обыкновенного телевизора. Когда вентилятор гонит воздух мимо коронирующих проволочек, вместе с воздухом уносятся многие миллионы легких отрицательных ионов.

Измерения показали, что на расстоянии около полуметра от коронного ионизатора в каждом кубическом сантиметре имеется миллион отрицательных ионов.

Созданы комнатные ионизаторы воздуха, в которых ионы создают тихий разряд.

Ионизатор с тихим разрядом — это круглая люстра, в которой вместо лампочки натянута металлическая сетка. К сетке припаяны острые короткие проволочки. Когда на нее подают высокое отрицательное напряжение, мы не замечаем разряда, он невиден. Но около каждого острия непрерывно рождаются отрицательные ионы, «разбредающиеся» по всей комнате. В такой комнате человек чувствует свежесть, ему легко дышится.

Нужно, однако, предостеречь тех, кто захочет самостоятельно установить в своей комнате ионизатор воздуха. Тщательные исследования, проведенные в последние время, показали, что ионизатор оказывает благотворное влияние лишь при правильном его использовании. Поэтому устанавливать его

можно только после медицинского обследования и по назначению врача. Врач, обнаружив, например, сердечное заболевание у того или иного человека и назначив лечение ионизированным воздухом, определит режим этого лечения, продолжительность сеансов и т. д. При этом специальными приборами будет контролироваться производительность ионизатора — количество ионов, поступающих в окружающее пространство. Без разрешения врача устраивать «ионный душ» не рекомендуется.

Глава XII
Когда плазма становится врагом

Случай в стратосфере

…12 октября 1939 года. Хмурым утром в этот день серебристая капля стратостата «СССР ВР-60 Комсомол» плавно ушла ввысь и вскоре исчезла за облаками.

Стратостат был необычным. По желанию экипажа он мог превращаться в парашют и медленно опускаться на землю.

Конструктором этого стратостата был замечательный специалист по воздухоплаванию Тихон Макарович Кулинченко. Несколько лет упорного труда потратил он, чтобы создать этот стратостат-парашют.

В герметически закрытой гондоле было трое смельчаков: два Александра — Фомин и Крикун — и Михаил Волков. Все трое были опытными аэронавтами.

Полет проходил удачно. За три часа стратостат забрался на заданную высоту — около семнадцати тысяч метров. Научная аппаратура работала безотказно: непрерывно щелкал ионизационный счетчик космических лучей, делались снимки оболочки стратостата, регулярно брались пробы воздуха. По радио велась регулярная связь с землей.

Пора спускаться! Аэронавты начали выпускать из оболочки водород. Оболочка постепенно стала «худеть» и превратилась вскоре в гигантский парашют.

Расчеты конструктора оправдались.

И вдруг случилось непредвиденное. Это произошло на высоте десяти тысяч метров.

Михаил Волков, фотографируя через иллюминатор оболочку-парашют, увидел, как она вспыхнула, словно факел. Гондола стала стремительно падать.

Смельчаки не растерялись. Они пристегнули парашюты, открыли на высоте четырех с половиной тысяч метров люк и по одному стали прыгать навстречу воздушному вихрю.

Последним покинул гондолу Александр Фомин. Спускаясь на парашюте, он не отрываясь следил за падающей гондолой. Та, ударившись о землю, вспыхнула.

«Надо спасать научные записи!» — решил командир экипажа. Едва приземлившись, он бросился к гондоле и стал гасить огонь.

Так закончился героический полет трех смельчаков.

Что же было причиной катастрофы?

Плазма. Маленькая непрошеная искорка, сверкнувшая на высоте десяти тысяч метров.

При полете самолетов и аэростатов на их поверхности постоянно накапливаются электрические заряды. Причина — трение о воздух. Эти заряды неподвижны, поэтому они называются статическими. Когда зарядов скопится много, то может возникнуть разряд в виде искры — виновницы пожара.

На стратостате «СССР ВР-60 Комсомол» так и случилось. Ничтожное количество плазмы вызвало катастрофу.

Особенно опасно возникновение статического электричества там, где имеются пары легковоспламеняющихся жидкостей.

Некоторые из вас, наверно, обращали внимание на бензовозы — автомашины с установленными на них цилиндрическими цистернами. Мчится такой бензовоз и по дороге тащит за собой обрывок металлической цепочки. Для чего она? Чтобы не возникла искра и не подожгла бензин. Заряды, появляющиеся от трения бензина о стенки цистерны, собраться в опасную точку не успевают. Они по цепочке уходят в землю.

Просто и надежно.

Страшным врагом является электрическая искра на некоторых химических производствах и в шахтах. Она может взорвать целый завод и погубить под землей сотни жизней. Чтобы этого не случилось, принимают специальные меры, исключающие возникновение искрения в электрических цепях и устройствах.

Выходит, в некоторых случаях плазма может стать врагом, жестоким и коварным. Чтобы этот враг не приносил вреда, с ним борются, стараются обезвредить.

Люди научились не только заставлять плазму выполнять всевозможную работу, но и сумели там, где нужно, «расправиться» с ней, свести на нет все нежелательные последствия, которые она может вызвать.

Поединки с молниями

Многие, не знающие коварный характер молний, расчерчивающих огненными зигзагами грозовое небо, считают, что защититься от нее дело несложное. Достаточно, мол, поставить металлический штырь на крыше, соединить его с землей — и делу конец.

В действительности все обстоит иначе. Обезопасить людей, промышленные сооружения, жилые дома и другие объекты от грозовых разрядов — это значит решить целый комплекс сложных вопросов, предусмотреть все неожиданности, которые может преподнести молния.

Государство тратит большие средства, чтобы предохранить людей и народное добро от ударов молнии — плазмы, вспыхивающей в воздухе.

Поговорим вначале о защите зданий от ударов молнии. Ни один проект нового здания, особенно высотного, не утверждается, пока не будет разработана система грозозащиты.

В специальных лабораториях строят макеты таких зданий и обстреливают их искусственными молниями. Если будут обнаружены уязвимые места, грозозащита усиливается.

Даже если строится большой жилой дом с железной крышей, недостаточно заземлить ее в одном месте. Провода-токоотводы должны соединять ее через каждые двадцать пять метров периметра крыши, а также по углам.

Самые строгие требования к защите от грозы предъявляются к промышленным объектам, которые производят взрывоопасные вещества или имеют смеси пыли, паров, газов, способных взорваться. Молниеотводы на такие здания не ставятся, они располагаются вокруг здания, защищая от прямых попаданий молний большой участок. Чтобы внутри помещения не возникла искра, все металлические части оборудования заземляются.

Как видите, молнии приносят немало хлопот людям и обходятся в копеечку.

Не простое дело — защита от ударов молнии проводов, подвешенных над землей.

Вряд ли смогли бы мы регулярно слушать радиопередачи, пользоваться электрическим светом, разговаривать по телефону, если бы специалисты не придумали, как избавиться от попадания молний в провода.

При прямом ударе молнии в провод в линии связи или в линии электропередачи могут возникать напряжения в несколько миллионов вольт. Даже если разряд молнии попал не на линию, а между облаками, в проводах возникают перенапряжения в сотни тысяч вольт. Волна перенапряжения стремительно мчится вдоль проводов, может врываться в дома и учреждения и поражать

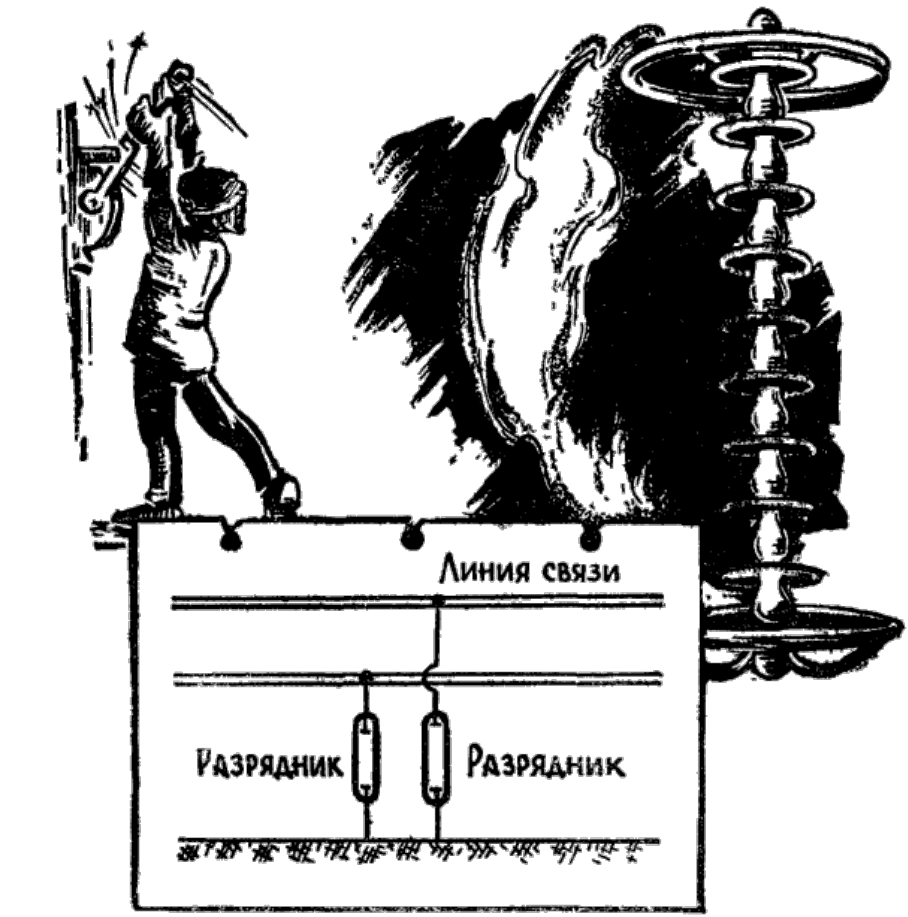
людей, выводить из строя аппаратуру.

Приходилось вам видеть шеренги высоких металлических опор, к которым подвешены провода линии электропередачи? Зачем на них подвешено четыре провода, а не три, необходимых для передачи трехфазного тока?

Из-за гроз. Верхний провод, прикрепленный к самым верхушкам опор, служит для защиты остальных проводов от прямых ударов молнии. Он так и называется «тросовый молниеотвод».

А как быть в том случае, если молния все-таки ухитрится ударить в провод? Линия выйдет из строя?

Нет. В этом случае с искрой-молнией вступает в борьбу искра защитная.



На рисунке показан провод высокого напряжения, подвешенный на гирлянде изоляторов. Когда в провод ударит молния и в нем возникнет перенапряжение, изоляторы остаются невредимыми. Разряд образуется раньше между двумя защитными кольцами, смонтированными у обоих концов

гирлянды. Молния лишь на мгновение замыкается на землю, и это мгновение столь коротко, что потребители даже не замечают «атаки» молнии.

Телеграфные провода защищаются от ударов молнии не только искровыми разрядниками, но и особыми плазменными устройствами — ионными разрядниками.

Вдоль линии через определенные расстояния устанавливаются эти надежные часовые, представляющие собой газоразрядные трубки, наполненные неоном или водородом. Один электрод разрядника присоединен к проводу, второй — к земле. Когда в провод ударит молния или возникнет перенапряжение от сверкнувшей неподалеку молнии, в трубке возникает плазма. Она автоматически заземляет линию. Как только заряд стечет в землю и напряжение в линии станет безопасным, разряд гаснет и линия продолжает работать как ни в чем не бывало.

Искры-грызуны и дуги-разрушительницы

Заглянем под капот автомобиля: там немало интересных устройств, заставляющих машину работать долго и безотказно. Всюду можно увидеть провода различных сечений и расцветок, клеммы, датчики, прямоугольные и цилиндрические коробки, назначение которых непосвященный человек поймет не сразу. В передней части, сверху или сбоку двигателя, пристроен генератор. Это электростанция автомобиля, она заряжает аккумулятор, питает энергией лампы фар и другие электроустройства. Ротор генератора при помощи ременной передачи вращается от вала двигателя. Прибавит водитель газ, ротор вращается быстрее, сбросит — обороты его падают.

Если бы не было небольшой коробочки — реле-регулятора, то генератор давал бы самые различные напряжения. При больших оборотах он перегружал бы током аккумулятор, а лампочки бы перегорали, при малых — аккумулятор не получал бы нужной подзарядки.

В реле-регуляторе, если снять с него крышку, можно увидеть несколько катушек — электромагнитов. Они чутко реагируют на всякие изменения напряжения и силы тока генератора и замыкают или размыкают контакты. Ходит по городу целый день машина, а в коробке реле-регулятора то и дело пощелкивают контакты. Шофер спокоен — электростанция не подведет.

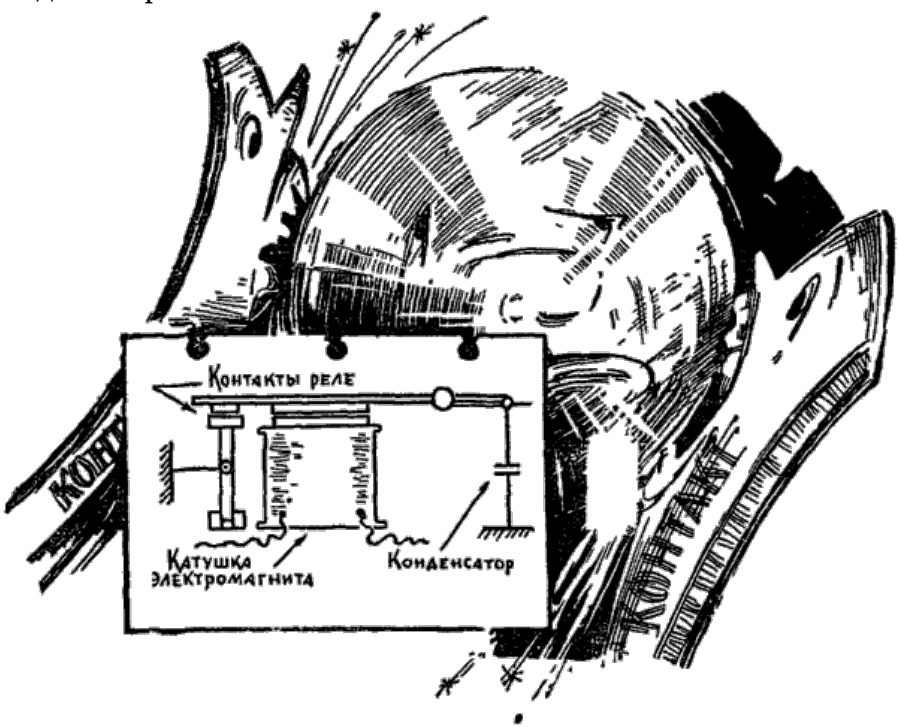
Сотни тысяч размыканий и замыканий тока сделают контакты реле за долгую жизнь машины. И каждый раз между ними проскакивает искорка, появляется и исчезает небольшой кусочек плазмы, хотя здесь это и нежелательное явление.

Я уже рассказывал о работе супругов Лазаренко, вступивших в бой с искрами-грызунами. Они убедились, что перед искрой никакой материал устоять не может, и создали свой замечательный станок для электроискровой обработки.

Но искры в тысячах реле продолжали скакать и грызть контакты. Они нередко так разогревали их, что контакты спекались, сваривались и тогда машина или какой-либо сложный станок теряли координацию движений, либо переставали работать. Из-за маленькой искры выходила из строя большая машина.

Инженеры ломали голову над тем, как уменьшить искрение в контактах, химики-металлурги стали создавать специальные сплавы, которые смогли бы выдержать побольше «укусов» искры. Она незаметно, изо дня в день разрушает, грызет металл контактов реле, каким бы прочным он ни был.

Одним из средств, уменьшающих искрение контактов, является включение так называемых искрогасящих конденсаторов.



На рисунке вы видите пару контактов реле, параллельно которым подключен конденсатор. Контакты замкнуты, и через

них идет ток. В данный момент на конденсаторе нет напряжения, он «закорочен» контактами.

При размыкании контактов ток в цепи не исчезает мгновенно. Пока между контактами «живет» искра, электроны движутся в проводах. Но при конденсаторе искра не получается такой «жирной», как в случае, когда конденсатора нет. Часть тока идет на зарядку конденсатора, и искре «достается» меньшая мощность.

Правда, при замыкании контактов конденсатор будет разряжаться через них, увеличивая искру, но с этим мирятся, потому что при замыкании искра получается значительно слабее. В системе зажигания автомобиля искрогасящий конденсатор — важная деталь. Он устанавливается параллельно контактам прерывателя и не дает этим контактам быстро подгорать и выходить из строя.

И все же до сих пор искрение в контактах механических реле считается большим злом. В некоторых случаях приходится отказываться от таких реле и применять более сложные электронные схемы.

Помните, я рассказывал о тиратроне — плазменном приборе, имеющем, кроме анода и катода, еще электрод — сетку.

Оказалось, что с помощью тиратрона можно не только выпрямлять переменный ток, но и прерывать его. Иными словами, использовать его в качестве реле.

Тиратрон включается последовательно в электрическую цепь, через него проходит весь ток. Когда нужно прервать ток, на сетку подают отрицательный потенциал. Сетка становится непреодолимой преградой для зарядов. Ток в цепи прерывается. Срабатывает такое реле значительно быстрее, чем электромагнитное. Таким образом, против плазмы-искры заставили сражаться плазму тлеющего разряда и получили хороший результат.

А как быть в тех случаях, когда нужно разорвать электрическую цепь не в маломощном реле, а, например, на большой электростанции или на силовом пульте гиганта-завода, пожирающего целую реку электричества? Здесь при разрыве цепи рождается не слабенькая искра, а яркая дуга, способная сокрушить все.

На первых порах для таких цепей строили большие массивные выключатели. Сильные пружины выхватывали толстые металлические ножи из гнезд выключателя и разрывали цепь. Потом заметили, что дуга в жидкости меньше разрушает контакты по сравнению с дугой, образовавшейся в воздухе.

Выключатели стали помещать в хорошо очищенное, почти прозрачное масло. Иногда вместо масла применяли очищенную

от солей воду, она тоже неплохо справлялась с гашением дуги.

В особенно мощных выключателях применили еще одну хитрость: электрическую цепь разрывают двумя спаренными контактами. Вместо одной сокрушительной дуги получались две или несколько более слабых дуг, справиться с которыми значительно легче.

Применяют также воздушное или водородное дутьё. В момент рождения плазмы мощная струя воздуха или водорода сбивает пламя дуги, рассекает плазму и тем самым ослабляет силу ее удара.

Есть выключатели, в которых плазму дуги подхватывает мощное магнитное поле и бросает ее в специальную камеру, разделенную на отсеки. Дуга рассекается на части и становится не такой опасной для контактов выключателя.

Война с дугами-разрушительницами сейчас идет полным ходом. Ведется она в нескольких направлениях. Наряду с совершенствованием механических выключателей создают ионные прерыватели тока, способные выдержать силу тока в сотни ампер. В них применены не тиратроны, а дуговые лампы — игнитроны, которые, как вы уже знаете, обычно используются для выпрямления переменного тока.

Когда на аноды игнитронов подают импульс отрицательного напряжения, ток в цепи прекращается.

Дуга-разрушительница, стоило подойти к ней умело, стала послушной исполнительницей воли человека.

Плазма мешает разговаривать

Зашел я раз к одному своему товарищу. Был он заядлым коротковолновиком-любителем, поэтому я не удивился, застав его за радиопередатчиком.

Я обратил внимание на сердитое лицо хозяина дома.

— Что с тобой? — хотел я спросить, но тот, оторвав руку от телеграфного ключа, опередил меня.

— Понимаешь, только связался с Новосибирском, вдруг — на тебе! — во дворе затеяли сварку. Так и не удалось поговорить! Сигнал шел слабый — сварка все заглушила!

Я взял головные телефоны, надел их и услышал беспорядочный треск. В короткие паузы откуда-то издалека доносился еле слышный писк азбуки Морзе. Разобрать что-либо было невозможно.

Я выглянул в окно. Внизу вспыхивало желто-фиолетовое пламя электросварки. Именно оно было виновником того, что разговор по радио не состоялся.

Я успокоил хозяина дома и посоветовал, как избавиться от голоса плазмы, вмешивающейся в чужой разговор.

Было время, когда способность плазмы подавать свой голос позволила А. С. Попову изобрести радио. Сейчас в этом голосе никто не нуждается, техника преодолела много новых ступеней и создала принципиально новые ламповые передатчики. Они как небо от земли отличаются от искровых генераторов времен Попова.

И все же вокруг нас работают сотни плазменных генераторов радиоволн. Это — передатчики-самозванцы, передатчики-вредители.

По улице проехал автомобиль. Это не только автомобиль, но и «радиостанция». Система зажигания его добросовестно излучает в пространство всевозможные радиоволны. Щелкают контактами в цехе завода реле, заставляют поточную линию хорошо выполнять распоряжения оператора. Но искорки, прыгающие с одного контакта на другой, — это не что иное, как миниатюрные радиопередатчики. Электросварочные агрегаты, аппараты дарсонвализации, рубильники, коллекторные машины и даже обыкновенные комнатные выключатели — все они посылают в эфир свой голос, все они мешают разговаривать по радио и слушать радиопередачи.

Радиоспециалисты хорошо знают, что в тех местах, где сосредоточены промышленные предприятия, эфир «загрязнен», там слишком велики электрические помехи. Нередко они делают приемники беспомощными коробками.

Как же заставить замолчать этих непрошеных «корреспондентов», имя которым — легион?

Этот вопрос занимал и занимает умы многих радиоспециалистов.

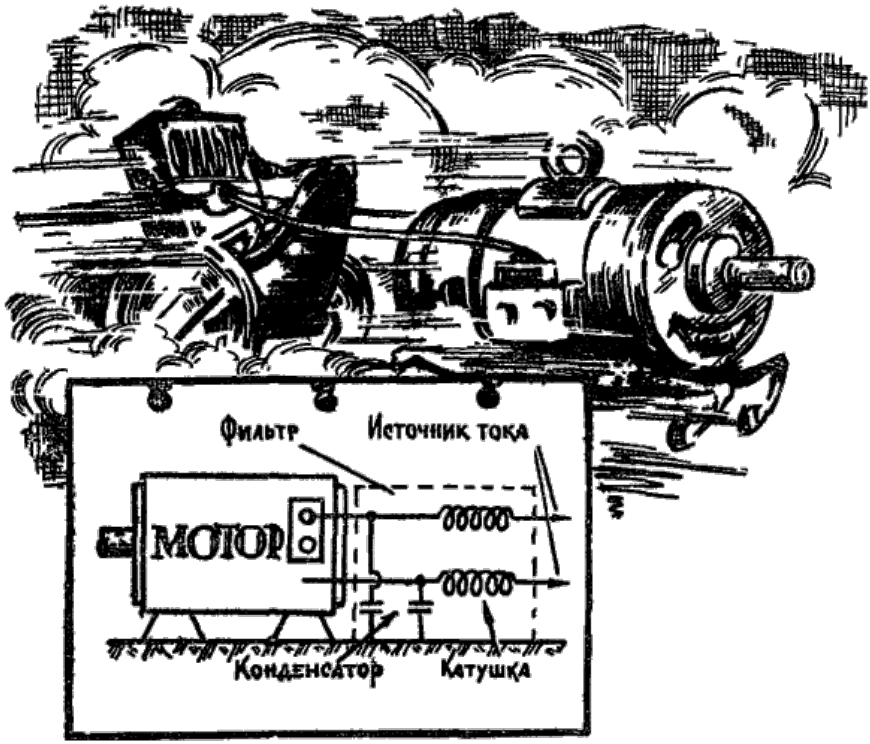
Вначале стали пробовать окружать искрящие устройства металлическим экраном. Пусть, мол, искры разговаривают сами с собой, их радиоволны не смогут пробить металлическую стенку.

Но не тут-то было! Электромагнитные колебания разбегаются по проводам, которыми опутано любое электроустройство. Эти провода становятся добровольными антеннами. Они вовсю излучают радиоволны.

Тогда стали и на провода надевать экраны — металлические чулки. Но и это не всегда помогало.

Пришлось ввести в бой с радиопомехами еще одно средство — электрические фильтры.

Гудит где-нибудь работяга-электромотор, а на его корпусе спокойно сидит коробочка-фильтр. По коллектору мотора прыгают искры, они неутомимо генерируют электромагнитные волны. Но вырваться из мотора и начать гулять по проводам эти волны не могут — не пускает фильтр. Простейший фильтр — это обыкновенный конденсатор, который подключается одним зажимом к проводу, а другим к земле или к корпусу машины. Конденсатор, как известно, является преградой для постоянного тока, переменный же ток он пропускает через себя беспрепятственно. Поэтому он и замыкает на землю высокочастотные переменные токи, созданные искрами, и они не попадают в электрическую сеть.



Когда электрическая установка создает мощные радиопомехи, фильтр делают посложнее. Кроме конденсаторов, в нем появляется катушка индуктивности. Включенная в цепь последовательно, катушка становится серьезной преградой для высокочастотных токов.

В автомобилях, чтобы заглушить радиоголос системы зажигания, идут еще на одну хитрость. В провода, которые присоединяются к свечам, включают сопротивление. От этого искорка в свече получается слабее, но зато излучение проводов уменьшается во много раз.

И все же, несмотря на принимаемые меры, плазма постоянно

давала о себе знать. Виной этому нередко была неаккуратность и нерадивость некоторых людей.

«Подумаешь, конденсатор! — рассуждали такие люди. — Ведь машина без них работает, значит, можно обойтись без них».

И строили новые электрические машины и установки, которые сразу же включались в общий хор радиопомех.

Но нет! Люди не должны мешать друг другу работать. У нас существует закон, запрещающий «загрязнять» эфир радиопомехами. Как бы ни были хороши электрические машины и установки, их нельзя включать, пока не будут устранены создаваемые ими помехи.

Чтобы никто не нарушал этого закона, были созданы специальные организации — радиоинспекции. Наряду с другими обязанностями, они выполняют и такую: следят, не появится ли в эфире какой-либо мощный источник радиопомех. Стоит ему только появиться, приборы, вроде радиопеленгаторов, точно указывают, где раздается его «голос». Специалисты выезжают на «место происшествия», делают измерения и запрещают работу установок — источников помех до тех пор, пока не будут приняты необходимые меры.

Вот сколько хлопот доставляет плазма, подающая свой «радиоголос» тогда, когда это совсем не нужно.

Цена короны

Приходилось вам наблюдать, как в темную пасмурную ночь светятся провода высоковольтной линии? Кажется, что они помещены в светящиеся чехлы. Иногда диаметр таких «чехлов» достигает тридцати сантиметров!

Что это? Обман зрения?

Нет, это корона, плазма, возникшая благодаря высокому напряжению на проводах.

Мы уже знаем, что всякий разряд, если он возник в газе, может существовать лишь в том случае, если на него затрачивается электрическая мощность. Коронный разряд вокруг проводов тоже расходует электричество. Ток, который должен был вращать моторы, освещать дома и улицы, плавить металл, еще не дойдя до потребителей, расходуется на бесполезное свечение воздуха.

«Потери от короны» — так назвали специалисты-энергетики эту потерю электричества, улетучивающегося в воздух. Они порой

были столь велики, что на нет сводили выгоды от передачи энергии при высоком напряжении.

Корона возникает не всегда. Она появляется при некотором, как его называют, критическом напряжении.

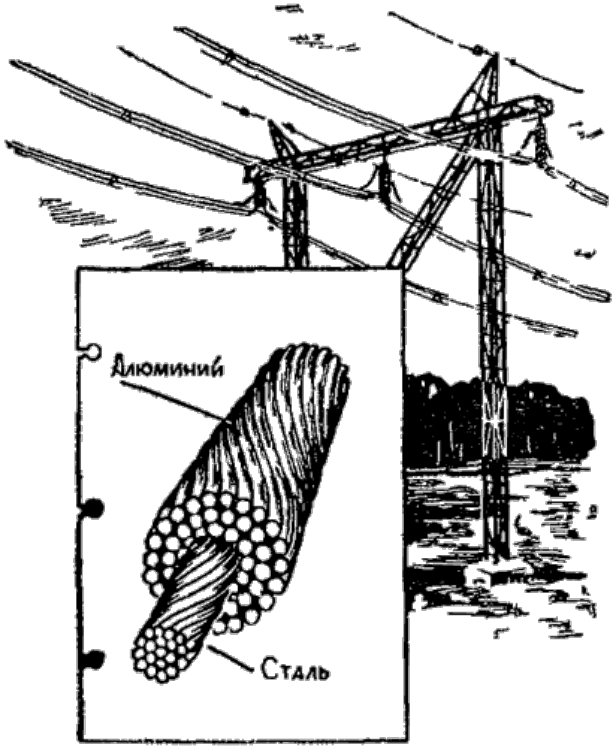
Есть четыре основные причины, которые влияют на величину критического напряжения: расстояние между проводами электролинии, толщина проводов, состояние их поверхности и погода.

Инженеры, проектирующие линию электропередачи, должны все эти факторы учитывать. Правда, управлять погодой люди пока не могут, но остальные факторы могут изменяться в довольно широких пределах.

Задача состоит в том, чтобы сделать критическое напряжение больше, чтобы корона могла возникать лишь при очень высоких напряжениях в электролинии. Для этого надо подальше располагать провода-фазы друг от друга, делать эти провода потолще и добиваться, чтобы они были без вмятин и заусениц. Именно около таких неровностей больше всего искажается электрическое поле и раньше, чем на других участках, начинается коронный разряд.

Однако всему есть предел. Нельзя делать провод толщиной с бревно и невыгодно разносить провода-фазы на сотни метров друг от друга. Провода, как правило, висят на общих опорах и из экономии веса и материала делаются не очень толстыми.

Чтобы «обмануть» корону и не остаться в проигрыше, инженеры нашли такой выход: стали делать провода из двух металлов. В сердцевине помещают стальной трос, а вокруг него — алюминиевые проволоки, свернутые жгутом. Провод получается и прочным и достаточно толстым. Для линий электропередачи в 220 тысяч вольт применяли также пустотелые провода. Расход металла на них оказывался значительно меньше, чем при сплошных проводах той же толщины, а эффект был бóльшим.

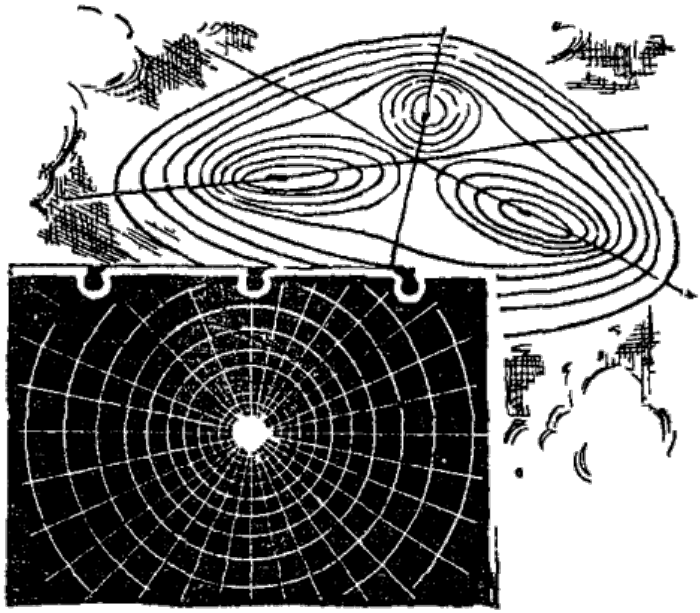


Когда стали проектировать линию электропередачи Куйбышев — Москва, по которой в столицу должна была хлынуть электроэнергия при напряжении четыреста тысяч вольт, то расчеты показали, что без принятия особых мер корона «съедала» бы ежегодно сто тридцать — сто семьдесят миллионов киловатт-часов! Миллионы рублей народных средств буквально улетучились бы в воздух.

С этим мириться было нельзя. И советские специалисты нашли выход из этого положения.

Вместо трех проводов между Куйбышевом и Москвой было решено натянуть девять — по три провода на каждую фазу.

Что это дает, можно понять из рисунка.



Внизу изображено электрическое поле вокруг одиночного толстого провода, сверху — электрическое поле при расщеплении фазы. Вместо одного толстого взято три тонких провода, разнесенных в пространстве.

В этом случае электрическое поле вокруг проводов получается не таким сильным и искаженным, не таким густым и коронный разряд не возникает.

Миллионы киловатт-часов электроэнергии оказываются спасенными.

Так инженеры «расправились» с короной и не дали ей возможности приносить вред.

Глава XIII
Будущее в настоящем

Вот мы и подошли к концу рассказа о подвигах, которые совершила и совершает на благо человека плазма. Перебрав их в памяти, можно уверенно сказать, что сейчас вряд ли найдешь какую-либо отрасль науки и техники, которая не пользовалась бы замечательными свойствами четвертого состояния вещества. Человек покорил плазму, заставил ее работать на себя.

Но люди ненасытны в стремлении овладевать все новыми и новыми тайнами природы. Подтверждением этого является невиданный расцвет науки и техники, свидетелями которого являемся мы.

Раньше человек только мог мечтать о полетах в космос. Сейчас советские космические ракеты и корабли уверенно вступают в космическое пространство и добывают оттуда ценнейшие научные сведения. Немалая заслуга в этом принадлежит и большому отряду ученых и инженеров, покоривших плазму и создавших удивительные плазменные приборы. Роль их труда будет не менее важной и в будущем.

Будущее… Его даже писатели-фантасты представляют неотчетливо. Увереннее они, пожалуй, пишут лишь об одном — о необыкновенном расцвете техники, о всеобъемлющей механизации и автоматизации, об «умных» машинах, которые будут заменять человека в девяноста девяти случаях из ста.

Но и здесь нельзя быть уверенным в том, что техника XXI века станет такой, какой ее рисует фантазия писателя. Наука дарит человечеству порой такие открытия, которые создают для техники новые, никому не ведомые доселе пути.

Примеров этого можно привести немало.

Книжка, которую вы прочли, посвящена плазме. И в этой последней главе, рассказывающей о перспективах ее применения, меньше всего будет фантазии. Здесь мы поговорим о том, над чем ученые работают уже сегодня и что скоро будет осуществлено.

Итак, поговорим о будущем, которое делается сегодня, побываем в лабораториях ученых, посвятивших себя благородной цели — окончательному, полному покорению плазмы.

Управляемая термоядерная…

Многие из вас, наверно, замечали, что когда печь топят не дровами, а углем, то тепла выделяется больше. Но еще сильнее нагреется печь, если в ней сжечь равное по весу количество нефти. Отсюда нетрудно сделать вывод, что уголь более выгодное топливо, чем дрова, а нефть выгоднее угля.

Если перевести эти слова на язык цифр, то получится следующее: один килограмм дров при сгорании выделяет 2,5 киловатт-часа энергии, килограмм угля — 8 киловатт-часов, а нефти еще больше — 11,6.

В последние годы начало применяться еще одно «горючее» — ядерное.

На атомных электростанциях, число которых растет из года в год, тепло добывают не из угля и не из нефти, а из ядерных глубин вещества. Атомные котлы «отапливаются» ураном. Заставляя ядра атомов этого тяжелого элемента распадаться на осколки, получают огромное количество энергии. Один килограмм делящегося урана выделяет 22 миллиона 300 тысяч киловатт-часов!

Выгодное «топливо», не правда ли?

Но ученые, покорив энергию делящихся ядер, и не думали останавливаться на этом. Они стали искать новые кладовые энергии и нашли их.

Все вы знаете о том, что существует водородная бомба. Взрывчатым веществом в этой бомбе является не обычный водород, а «тяжелый». Если ядро атома обычного водорода состоит из одной отрицательно заряженной частицы — протона, то в ядре тяжелого водорода, кроме протона, есть еще один или два нейтрона — незаряженные частицы, которые чуть-чуть тяжелее протонов.

Когда ядра тяжелого водорода удается сблизить друг с другом, то может произойти их соединение, синтез и могут образоваться ядра нового вещества, например, гелия. При этом выделяется огромная энергия, способная совершить колоссальные разрушения.

Сблизить ядра тяжелого водорода — задача нелегкая, потому что нужно преодолеть колоссальные силы отталкивания. Лишь при температуре в миллионы градусов удается добиться этого и дать начало термоядерной реакции.

Вот почему в водородную бомбу в качестве запала помещают обычную атомную, которая, взорвавшись, создает нужную температуру и заставляет соединяться ядра тяжелого водорода.

Взрывы бомб несут разрушения и смерть. Они — орудие войны.

Чтобы термоядерная реакция приносила пользу, нужно замедлить ее, заставить выделять энергию не мгновенно, не толчком, а постепенно.

Из большого бака воду можно вылить двумя способами: опрокинуть бак и всю воду вылить сразу или открыть кран и выливать воду тонкой струей. Прикрывая кран, можно регулировать мощность струи.

Ученые, работающие над проблемой управляемой термоядерной реакции, как раз и хотят добиться того, чтобы энергия соединения ядер водорода выделялась медленно, струей.

Добиться этого пока не удалось, но, когда задача будет решена, люди получат целый океан энергии.

Море нельзя вычерпать ведром. Термоядерная энергия — это море, из которого человек будет брать энергии столько, сколько нужно.

На земле неисчислимые запасы водородного горючего. Один килограмм тяжелого водорода, превратившись в гелий, способен выделить 177 миллионов 500 тысяч киловатт-часов энергии! Это в двадцать два миллиона раз больше по сравнению с углем. По этой цифре можно судить, насколько выгодно овладение термоядерной энергией.

Но причем здесь плазма? — могут спросить некоторые читатели.

А притом, что без плазмы эту проблему не решить.

Побывайте на Выставке достижений народного хозяйства СССР. Там в павильоне «Атомная энергия в мирных целях» вы увидите установки, в которых удалось получить температуру в несколько миллионов градусов. Установки эти плазменные, их создано несколько типов.

Посмотрите на рисунок, изображающий схему одного из плазменных нагревателей (стр. 212). Тут конденсатор — кладовая энергии. Когда эта «кладовая» наполнится зарядами, между искрами разрядника проскакивает искра. Ток возникает и в разрядной камере, изображенной прямоугольником. На мгновение там рождается плазма. Мощное магнитное поле сжимает плазму в огненный жгут и отгораживает ее от стенок. Сама плазма тоже начинает «уплотняться», сжиматься еще больше. В плазменном жгуте возникает «всплеск» температуры до трех-четырех миллионов градусов. В более сложных установках получены температуры пять-шесть миллионов градусов.

Расчеты показывают, что для начала термоядерной реакции нужна температура свыше ста миллионов градусов. Но сейчас никто не сомневается, что труднейшая задача современной науки будет решена. И сделают это ученые при помощи плазмы.

Подтверждением этого является, например, новое важное сообщение о достижениях советских физиков. В Институте атомной энергии имени И. В. Курчатова удалось получить плазму с температурой сорок миллионов градусов. Это самое крупное достижение в области высокотемпературной плазмы. Так оценили этот успех ученые многих стран.

Основная трудность, с которой столкнулись физики, пытавшиеся нагревать плазму, была вызвана неустойчивостью плазмы. Плазма, которую отгораживало от стенок разрядной камеры магнитное поле, просачивалась через магнитные силовые линии, не хотела сжиматься, что не давало возможности еще больше повысить ее температуру. Многие известные ученые считали, что неустойчивость плазмы преодолеть невозможно. Однако советские физики, работающие под руководством академика Л. А. Арцимовича, кропотливо изучали все виды неустойчивости плазмы и готовились ее штурмовать. И вот пришел первый крупный успех.

В установке, названной учеными пробкотроном, в разрядной камере был создан такой магнитный «забор», густота линий которого увеличивалась во все стороны от области, занимаемой плазмой. Этот «забор» не давал плазме ускользать, благодаря чему время жизни плазмы удалось увеличить до сотых долей секунды. В масштабах микромира это большое время: каждая частица плазмы успевает пробежать внутри установки путь в несколько километров.

Плазма, полученная в пробкотроне, занимает объем в несколько десятков литров. В каждом кубическом сантиметре такой плазмы содержится примерно десять миллиардов частиц — такая плотность получена тоже впервые. Но советские физики стремятся к новому рубежу. Они работают над установкой, в которой плазма имела бы плотность в десять тысяч раз большую и температуру свыше ста миллионов градусов.

Плазменная динамо-машина

Овладение термоядерной энергией — важнейшая задача советской науки. Она записана в Программе нашей партии, и в этом залог ее осуществимости. Но обуздать термоядерные силы, заставить их служить человеку нелегко, а электричество нужно каждый день, каждую минуту. Нельзя ли заставить плазму уже теперь приносить пользу при получении электричества?

Оказывается, можно.

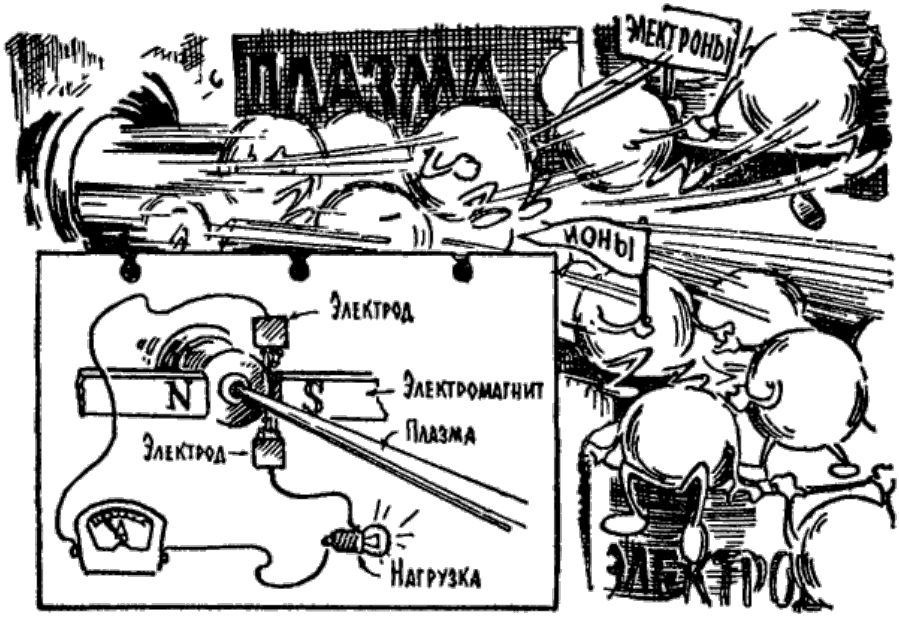
Недавно в печати было опубликовано, что создан принципиально новый плазменный генератор электрического тока. Чтобы понять, как работает эта плазменная динамо-машина, рассмотрим принцип действия обыкновенного электрогенератора.

Между полюсами магнита, в сильном магнитном поле, вращается якорь — система проводников. При пересечении магнитных силовых линий в якоре рождается ток. Чтобы вращать якорь, приходится затрачивать энергию. Она получается за счет сгорания угля или нефти, либо за счет падающей воды, либо от какого-нибудь другого источника, например, атомного реактора.

Но превращение энергии угля или нефти в энергию тока здесь происходит не сразу, а через несколько ступенек. Уголь, сгорая, заставляет испаряться воду; струя пара, ударяясь в лопасти турбины, приводит во вращение якорь генератора; и только после того, как якорь начнет вращаться, энергия вращения проводников в магнитном поле превращается в ток.

С точки зрения экономичности работы машины такой способ получения электричества невыгоден, потому что много энергии пропадает напрасно. Действительно, пламя горящего угля нагревает не только трубки с водой, но и окружающий воздух, струя пара, проходя через турбину, отдает не всю свою энергию: пар из турбины выходит довольно горячим и с большой скоростью; тратится энергия и на преодоление сил трения во вращающихся и движущихся деталях генератора. Таким образом, потери энергии оказываются неизбежными, а это немедленно сказывается на коэффициенте полезного действия установки. Лучшие современные электростанции с пользой потребляют лишь сорок — сорок пять процентов энергии топлива.

Ученые давно стали задумываться над тем, как суметь непосредственно, без промежуточных ступеней, превращать тепло в электричество. И вот решающее слово предоставили плазме.



Как устроена плазменная динамо-машина, можно понять из рисунка. В атомном реакторе, или топке, которые на рисунке не показаны, создается очень высокая температура. Благодаря этому газ очень сильно нагревается и превращается в плазму. Расширяясь, он с огромной скоростью вырывается через сопло наружу. Струя плазмы попадает в промежуток между двумя полюсами электромагнита, и заряженные частицы — электроны и ионы — немедленно начинают испытывать воздействие магнитных сил. Они тормозятся магнитным полем и изменяют направление своего полета. Электроны выталкиваются наверх, к катоду, а положительно заряженные ионы устремляются вниз, к аноду. Достаточно присоединить к катоду и аноду нагрузку, и в цепи возникнет электрический ток. Он может вращать моторы, нагревать спирали электроприборов и производить другую работу.

В плазменной динамо-машине нет вращающихся деталей. Струя плазмы, получающаяся в результате сгорания топлива, заменила тяжелый громоздкий якорь, а ее тепловая энергия непосредственно превратилась в ток.

Первые модели плазменных генераторов еще далеки от совершенства, однако они почти в полтора раза экономичнее обычных генераторов. Представьте себе, как велика была бы выгода, если бы заменить старые генераторы новыми, плазменными! Но этого пока сделать нельзя, и вот почему.

Главным недостатком плазменных, или, как их называют ученые, магнитогидродинамических генераторов является то, что их катоды и аноды, принимающие заряженные частицы, не

выдерживают длительной работы. Струя плазмы слишком горяча, и электроды быстро выходят из строя. Правда, сейчас ученые добились того, что их генератор мощностью восемь киловатт может непрерывно работать в течение часа. Это, кстати, намного больше, чем у аналогичных машин, созданных американскими учеными.

Препятствия, которые мешают внедрению плазменных генераторов сегодня, несомненно будут преодолены. Недалеко то время, когда мощные струи плазмы, вылетающие со сверхзвуковой скоростью из атомных реакторов, будут рождать целые реки электричества и отдавать их на нужды человека.

Плазменные ракеты

Мы являемся свидетелями необыкновенного развития ракетной техники. Времена, когда ракетные устройства применялись только для фейерверков и подачи сигналов, прошли. Сейчас с помощью ракет выводят на орбиты искусственные спутники Земли и Солнца и доставляют научную аппаратуру за сотни тысяч километров от Земли.

Ракетные двигатели сократили расстояния и на нашей планете. Знаменитые воздушные лайнеры «ТУ» совершают полеты на огромные расстояния. Преодоление звукового барьера и полеты самолетов со скоростью, превышающей скорость звука, также стали возможными благодаря двигателям-ракетам.

Преимущества, которыми обладают ракетные устройства, заставляют не жалеть сил и средств для совершенствования этого детища двадцатого века. Важная роль в этом принадлежит плазме.

Мы уже знаем, что раскаленные газы, стремительно вылетающие из сопла ракеты, — это плазма. Получается она от сгорания керосина или другого ракетного топлива в двигателе.

Горение — химический процесс, поэтому современные ракеты можно назвать ракетами химического принципа действия. В будущем такие ракеты, особенно для полетов на другие планеты, вряд ли будут применяться. На смену им придут ракеты с атомными двигателями.

Сейчас ученые уже намечают контуры этих замечательных ракет.

«Душой», «сердцем» ракеты является атомный реактор. В нем непрерывно идет процесс деления ядер урана и выделение

большого количества тепла.

В носовой части ракеты расположены баки с веществом — жидкостью, — называемым рабочим телом. По трубам эта жидкость поступает в реактор и благодаря огромной температуре в нем превращается в плазму.

Газ-плазма ищет выхода. Путь для него открыт только к хвосту ракеты, где расположено сопло. Чем быстрее плазма будет вырываться из сопла, тем большую скорость разовьет ракета.

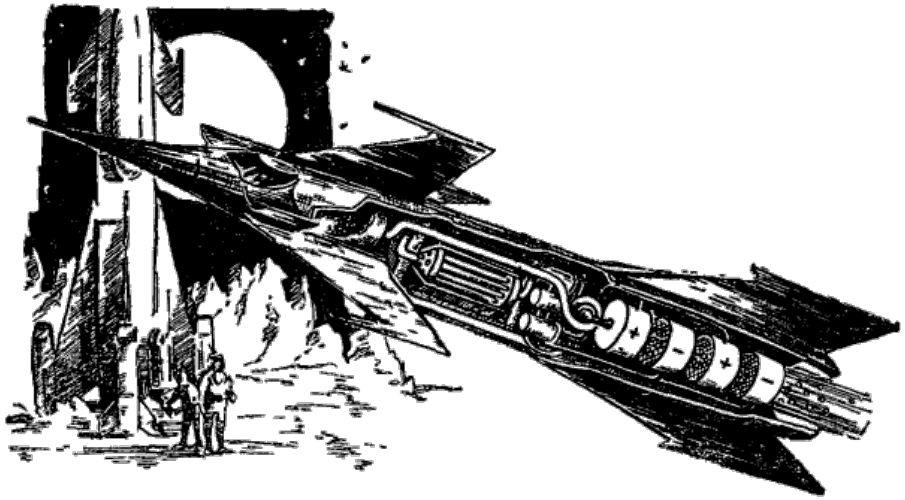
Плазма — это частицы, несущие электрический заряд. Значит, на них можно влиять электрическим полем.

В задней части ракеты перед соплом установлено несколько полых цилиндров. Посмотрите, как соединены они с генератором электрического тока, имеющимся в ракете. Первый и третий цилиндры соединены с одним полюсом генератора, второй и четвертый — со вторым. Благодаря этому ионы плазмы, оказавшись внутри первого цилиндра, подхватываются электрическими силами и увлекаются дальше — в сторону второго цилиндра. Разогнавшись, они достигают третьего цилиндра, откуда с еще большей скоростью мчатся к последнему, четвертому, цилиндру и выбрасываются наружу.

Тяговое усилие такой ракеты получается очень большим, и благодаря этому ракета может развивать скорости, недоступные обычным химическим ракетам.

Преимущества ядерной ракеты очевидны.

Ракету не нужно загружать ни химическим топливом, ни окислителем. Атомный реактор может долго работать при небольших количествах урана. Его «калорийность» вам известна, она огромна. Сравнительно громоздким будет запас рабочего тела — материала для плазмы. Но и его можно сделать более компактным, если использовать вещества с большим удельным весом. Рабочее тело не подвергается никаким химическим превращениям, не сгорает, но оно, превратившись в ионизированный газ, выбрасывается из ракеты, создавая тягу. Поэтому запасы рабочего тела в значительной степени могут определять дальность космического полета.



Интересен проект еще одной ракеты с ядерно-электрическим двигателем.

В этой ракете, как и в предыдущей, тоже есть атомный реактор, но его энергия расходуется на то, чтобы заставлять работать мощный электрический генератор. Эта ракетная электростанция — копия современных атомных электростанций, только она безусловно меньше.

В реактор подается вода, которая мгновенно превращается в пар высокого давления. Вырываясь наружу, пар ударяется в лопасти паровой турбины и заставляет ее вращаться. На общем валу с турбиной сидит ротор генератора. Он тоже приходит в движение, и генератор начинает отдавать ток.

«Львиная доля» этого тока расходуется для создания мощной электрической дуги.

Помните о струях плазмы, применяемых сейчас для испытания самолетов в аэродинамических трубах?

В этой ракете тоже создается струя плазмы.

Насос подает рабочее тело в пространство между двумя электродами — анодом и катодом. Анод соединен с положительным зажимом генератора, катод — с отрицательным. Катод расположен в хвостовой части ракеты, он сделан в виде кольца.

Когда между электродами вспыхивает дуга, положительно заряженные ионы устремляются к катоду и с силой выбрасываются из ракеты. Реактивная сила, возникающая при этом, сообщает ракете тягу, которая получается в десять — пятнадцать раз большей, чем у обычных химических ракет.

В ракете осуществлено непрерывное протекание двух процессов — разогрев рабочего тела, превращение его в плазму, и

ускорение ионов в электрическом поле. Благодаря этому и могут быть получены высокие тяговые показатели ракетного двигателя.

Ученые работают сейчас и над другими проектами космических ракет. Какой из них будет раньше осуществлен, сказать трудно.

Одно не вызывает сомнения: в этой ракете решающее слово будет принадлежать плазме. Именно она поднимет космический корабль над землей и увлечет его в безбрежные просторы космоса.

Искусственное солнце

Вы, наверно, с недоверием прочитали заглавие этого последнего рассказа о будущем плазмы?

Искусственное солнце… Да разве можно мечтать о том, чтобы на нашей планете, которая в тысячи раз меньше Солнца, создать нечто подобное огромному светилу? Можно!

Солнце — колоссальное скопление плазмы. Внутри него непрерывно бушуют ядерные реакции, рождающие огромные потоки энергии. Часть этой энергии получает наша Земля. Каждому квадратному метру ее поверхности, освещенной Солнцем, достается по крайней мере по два киловатта энергии. Если сложить все эти киловатты, получится внушительная цифра.

И все же ученые решили состязаться с Солнцем. В своих лабораториях они создали такие излучатели тепла и света, которые оказались и ярче и «теплее» Солнца.

Но одно дело — получить солнечное вещество в лаборатории и осветить им небольшую площадку, и другое дело — создать «копию» Солнца и осветить им Землю от горизонта до горизонта.

Расчеты ученых показывают, что можно создать такой плазменный «фонарь», который превратил бы ночь в день и сделал бы ненужным теперешнее искусственное освещение наших городов и сел.

…Представим нашу Москву лет через тридцать — сорок. Столица празднует годовщину Великой Октябрьской социалистической революции. Наступил вечер 7 ноября. Но всюду светло как днем. Солнце зашло за горизонт, и его заменил большой огненный шар, повисший над городом на тридцатикилометровой высоте.

Вы, наверно, пробовали при помощи лупы собирать солнечные лучи в одну точку и прожигать ими лист бумаги?

Нечто подобное произойдет, когда люди захотят сделать искусственное солнце.

На окраинах города будут установлены мощные высокочастотные станции. Питаясь электроэнергией, они будут, подобно прожекторам, посылать в небо потоки электромагнитных волн. На высоте в двадцать — тридцать километров над центром города эти потоки скрестятся. Энергия их столь велика, что в месте пересечения лучей воздух раскалится, он станет плазмой. Молекулы азота и кислорода начнут излучать свет.

Вы уже знаете, что плазма, возникшая в воздухе, рождает новые вещества. В недрах искусственного солнца будут возникать окислы азота. Дождь и ветер заставит их падать на землю. Таким образом земля получит, кроме света, и удобрения.

Вы, очевидно, думаете, что все это — дело далекого будущего. Представьте себе, это не совсем так.

Уже давно проведены успешные опыты по созданию «сгустков» плазмы, не «привязанных» к электродам, расположенных в отдалении от рождающей ее установки. Первому удалось это сделать советскому специалисту по токам высокой частоты Г. И. Бабату.

Сейчас накоплен большой опыт по передаче энергии на расстояние с помощью коротких электромагнитных волн.

Все это дает право говорить, что искусственное солнце — не фантазия.

Одной из причин того, что создание плазмы-светила отодвигают в будущее, является то, что для «работы» такого светила нужны миллионы киловатт мощности. Сейчас мы не можем так щедро расходовать электричество, тратить большие мощности для освещения, подобного искусственному солнцу, но, когда люди овладеют термоядерной энергией, побольше построят электростанций, плазменное искусственное солнце появится. Ученые и инженеры обязательно зажгут его!

* * *

Заканчивая последнюю страницу этой книги, я хочу рассказать о случайной встрече с одним ученым-физиком. Этот физик, с которым мне приходилось заниматься изучением высокочастотных разрядов, знал, что я пишу книгу о плазме. Встретившись со мной, он рассказал о своей научной работе, поинтересовался, как идут мои дела, и, прощаясь, вдруг спросил:

— Как вы назвали свою книгу?

— «Покоренная плазма», — ответил я.

— Но ведь она еще не покорена! — с жаром воскликнул мой собеседник. — Те применения плазмы, которые сегодня использует человек и которые, очевидно, позволили выбрать именно такое название книги, — только начало! Понимаете, начало покорения плазмы. Главное впереди!

И мой знакомый стал перечислять проблемы физики плазмы и ее применений, которые еще не решены, над разрешением которых бьются сейчас ученые многих стран.

Что ж! Мой собеседник был по-своему прав. Наука только теперь приступила к генеральному штурму четвертого состояния вещества. Плазма — эта, по словам академика Арцимовича, «самая капризная субстанция» — таит в себе поистине сказочные возможности. Извлечь их, покорить новые свойства плазмы — задача труднейшая, решать ее будут и те, кто сейчас еще учится в школе, а потом, определив свое призвание, вольется в отряд разведчиков нового, встанет в ряды покорителей плазмы.

Скажу заранее: нелегко попасть в отряд покорителей плазмы. Одного желания мало, нужны прочные знания, настойчивость, упорство, подлинная любовь к науке. Но настоящих энтузиастов это смущать не должно: цель — строить будущее — прекрасна. А ведь именно об этом идет речь, потому что сейчас никто не сомневается в справедливости высказывания крупнейшего советского физика академика А. Ф. Иоффе: «Техника будущего — это физика в различных ее применениях».

Подумайте об этом, ребята.

Оглавление

Предисловие … 3
Глава I. Прежде чем говорить о плазме … 7
Глава II. Четыре состояния вещества … 16
Глава III. Ток через газы … 33
Глава IV. Подвиги ученых и плазма … 48
Глава V. Эстафета «Русского солнца» … 70
Глава VI. Электрический гефест сегодня … 107
Глава VII. Искра-труженица … 118
Глава VIII. Химия и плазма … 128
Глава IX. Плазменные приборы и аппараты … 137
Глава X. Гиперболоид создан! … 163
Глава XI. Плазма лечит людей … 186

Глава XII. Когда плазма становится врагом … 197
Глава XIII. Будущее в настоящем … 210